



VÝROBA A OVĚŘENÍ PROTOTYPU DVOUKOMPONENTNÍHO DÍLU PRO TĚSNĚNÍ SPÁRY A-SLOUPKU

Diplomová práce

Studijní program: N2301-Strojní inženýrství

Studijní obor: 2301T048-Strojírenská technologie a materiály

Autor práce: Bc. Jan Hušek

Vedoucí práce: prof. Dr. Ing. Petr Lenfeld



ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Jan Hušek**
Osobní číslo: **S15000349**
Studijní program: **N2301 Strojní inženýrství**
Studijní obor: **Strojírenská technologie a materiály**
Název tématu: **Výroba a ověření prototypu dvoukomponentního dílu pro těsnění spáry A sloupku**
Zadávací katedra: **Katedra strojírenské technologie**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

1. Popis stávajícího stavu ohledně těsnících systémů.
2. Využití reverse engineeringu pro návrh dílu pro dvoukomponentní technologii.
3. Výroba 3D modelu a formy pro odlití vzorků.
4. Provedení experimentů a provozních testů.
5. Diskuse výsledků, závěr.

Rozsah grafických prací: grafy, tabulky, obrázky

Rozsah pracovní zprávy: cca 50 stran

Forma zpracování diplomové práce: tištěná/elektronická

Seznam odborné literatury:

- [1] LENFELD, P. *Technologie vstřikování*. www.etul.publi.cz, 2015. ISBN iOS: 978-80-88058-72-4, ISBN Android: 978-80-88058-73-1.
- [2] SOVA, M. *Termoplasty v praxi*. Praha: Verlag Dashofer s.r.o., 2001. ISBN 80-86229-15-7.
- [3] KOLOUCH, J. *Strojírenské výrobky z plastů vyráběné vstřikováním*. Praha: SNTL, 1986.
- [4] ZEMAN, L. *Vstřikování plastů*. Nakladatelství BEN, 2009 ISBN 80-7300-026-1.
- [5] STOECKHERT, K. *Mold-Making Handbook*, Carl Hanser Verlag, 1998.
- [6] GASTROW, H. *Injection Moulds, 130 Proven design*, Hanser, 2002.
- [7] BOBEK, J. *Vstřikovací formy pro zpracování termoplastů*. Dostupné na www.etul.publi.cz, 2015. ISBN Android: 978-80-88058-64-9.
- [8] Firemní materiály.

Vedoucí diplomové práce: **prof. Dr. Ing. Petr Lenfeld**
Katedra strojírenské technologie

Datum zadání diplomové práce: **1. listopadu 2017**

Termín odevzdání diplomové práce: **1. února 2019**

prof. Dr. Ing. Petr Lenfeld
děkan



doc. Ing. Jaromír Moravec, Ph.D.
vedoucí katedry

V Liberci dne 1. listopadu 2017



Tento list nahradíte
originálem zadání.





Prohlášení

Byl jsem seznámen s tím, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé diplomové práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li diplomovou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Diplomovou práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím mé diplomové práce a konzultantem.

Současně čestně prohlašuji, že tištěná verze práce se shoduje s elektronickou verzí, vloženou do IS STAG.

Datum:

Podpis:





**VÝROBA A OVĚŘENÍ PROTOTYPU DVOUKOMPONENTNÍHO DÍLU PRO TĚSNĚNÍ SPÁRY
A-SLOUPKU**

Anotace:

Diplomová práce se zabývá procesem výroby prototypu dvoukomponentního dílu těsnění spáry A-sloupku metodou vakuového lití polyuretanu do silikonové formy, včetně ověření jeho funkce v porovnáním s dílem ze sériové výroby. Originální díl zároveň slouží jako vstup pro získání CAD dat metodami reverzního inženýrství. Proces výroby prototypového nástroje, jeho ověření a výroba vzorků těsnění je realizováno v laboratoři oddělení vývoje firmy Henniges Automotive.

Klíčová slova

2K vstřikování, polyuretan, silikonová forma, kompresní zatížení, trvalá deformace

**PRODUCTION AND VERIFICATION OF THE TWO-COMPONENT PROTOTYPE PART FOR
A-PILLAR GAP SEALING**

Annotation:

The thesis describes the production process of prototype two-component A-pillar gap sealing by casting of polyurethane into the silicone mould in vacuum. Afterwards verification of function in comparison to the serial production part. Original part simultaneously works as the input to obtain the CAD data by the reverse engineering methodes. Production process and verification of the prototype tool and samples of sealing is realized in the laboratory of the company Henniges Automotive development department.

Keywords:

2K injection, polyurethane, silicone mould, compressive load deflection, permanent deformation





Poděkování

Děkuji panu profesoru Lenfeldovi za vstřícný přístup a cenné rady, dále firmě Henniges za možnost zpracovat experimentální část diplomové práce v její vývojové dílně a laboratoři.

Diplomová práce vznikla na základě finanční podpory projektu studentské grantové soutěže /SGS 21122/ ze strany Technické univerzity v Liberci v rámci podpory specifického vysokoškolského výzkumu.



OBSAH

1. ÚVOD.....	10
2. Teoretická část	11
2.1. Těsnící systémy osobních automobilů	11
2.1.1. Statická těsnění	11
2.1.2. Dynamická těsnění	13
2.1.3. Obstříky skel	15
2.2. Funkční a vzhledové požadavky na těsnění v automotive	16
2.3. Technologie pro výrobu těsnění dveří a kapoty v automobilovém průmyslu	18
2.3.1. Vytlačování profilů	19
2.3.2. Dělení extrudovaných profilů	22
2.3.3. Vstřikování koncovek	22
2.3.4. Vícekomponentní vstřikování	23
2.3.5. Technologie lití ve vakuu	26
2.4. Materiály těsnících systémů	26
2.4.1. EPDM	26
2.4.2. Termoplastické elastomery	27
2.4.3. PP	28
2.4.4. PA	29
2.4.5. PVC	30
2.4.6. PUR	30
2.5. Proces vývoje těsnění	31
2.5.1. Fáze poptávky	31
2.5.2. Prototypová fáze	32
2.5.3. DFMEA	35
2.5.4. Sériová konstrukce	35
3. Experimentální část	37
3.1. Cíle diplomové práce	37
3.2. Reverzní inženýrství	37
3.3. Výroba modelu pro dutinu formy	40
3.4. Výroba silikonové formy	42
3.5. Výroba vzorků těsnění spáry	46
3.6. Analýza tvarové přesnosti odlévaných vzorků	49
3.7. Měření reakčních sil na kompresní zatížení	51
3.7.1. Definice reakčních sil na kompresní zatížení	51

3.7.2.	Konfigurace zkoušky podle normy PV3364.....	51
3.7.3.	Konstrukce a výroba přípravků	52
3.7.4.	Měření reakčních sil na kompresní zatížení.....	53
3.7.5.	Výsledky měření reakčních sil na kompresní zatížení	54
3.8.	Měření trvalé deformace funkčního jazyka	56
3.8.1.	Definice trvalé deformace.....	56
3.8.2.	Konfigurace zkoušky podle normy PV3363.....	56
3.8.3.	Realizovaná konfigurace zkoušky.....	57
3.8.4.	Vzorec pro výpočet trvalé deformace.....	57
3.8.5.	Vlastní měření	57
3.8.6.	Výpočet trvalé deformace.....	59
4.	Diskuze výsledků	60
4.1.	Digitalizace originálního vzorku	60
4.2.	Výroba silikonové formy	60
4.3.	Výroba dílů	60
4.4.	Vzhled a tvarová přesnost odlitků	61
4.5.	Reakční síla funkčního jazyka na kompresní zatížení.....	61
4.6.	Trvalá deformace funkčního jazyka	62
5.	Závěr.....	63
	Seznam použité literatury.....	65
	Seznam příloh	67

Seznam použitých zkratk a symbolů

CAD	computer aided design (počítačem podporované projektování)
CAE	computer aided engineering (počítačem podporovaná inženýrská analýza)
STEP	standard for exchange of product model data (prostorový CAD data formát)
STL	prostorový CAD data formát pro rapid prototyping
CSV	comma separated values (souborový formát pro výměnu tabulkových dat)
MS	Microsoft
FEM	finite element method (metoda konečných prvků)
FMEA	failure modes and effects analysis (analýza možného výskytu a vlivu vad)
ISO	international organisation for standardization (mezin. org. pro normalizaci)
BMW	Bayerische Motoren Werke
VW	Volkswagen
CPK	koeficient způsobilosti procesu
SUV	sport utility vehicle (sportovní užitkové vozidlo)
LAH	Lastenheft (soupis požadavků zadavatele)
DPI	detail product information (detailní popis produktu)
SOP	start of production (zahájení sériové výroby)
EOP	end of production (ukončení sériové výroby)
STRAK	vnější datová obálka vozu
3D	trojrozměrné
2D	dvořozměrné
2K	dvoukomponentní
UHF	ultra high-frequency (ultra vysokofrekvenční)
TD	trvalá deformace
ShA	Shore A (jednotka tvrdosti materiálu)
ShD	Shore D (jednotka tvrdosti materiálu)
TPE	termoplastický elastomer
TPO	termoplastický olefinový elastomer
TPV	termoplastický vulkanizát
TPS	termoplastický styrenový elastomer
TPU	termoplastický polyuretan
TPE-E	termoplastický elastomer na bázi kopolyesterů
TPA	termoplastický elastomer na bázi polyamidů
EPDM	etylen-propylen-dien-terpolymer
EPR	etylen-propylenový kaučuk



EPM	kopolymer etylenu s propylenem
BR	butadienový kaučuk
NBR	butadien-akrylonitrilový kaučuk
SEBS	styren-etylen-butylen-styren
SBS	styren-butylen-styren
PP	polypropylen
PE	polyetylen
Al	hliník
PUR	polyuretan
POM	polyoximetylen
ABS	akrylonitril-butadien styren
PMMA	polymethylmetakrylát

1. ÚVOD

V posledních letech dochází v oblasti produkce těsnících systémů pro automobilový průmysl k významné redukci časových a finančních prostředků v prototypové fázi. Firmy jsou tak tlačeny do hledání co nejefektivnějších variant jak své produkty vyvinout, vyrobit a vyzkoušet před nasazením do sériového procesu. Vlastní vývoj klade vysoký důraz na konstrukci dílů maximálně zohledňující vyrobiteľnost a funkčnost. Dochází k přebírání zavedených konceptů a využívání zkušeností z předchozích projektů. Vyrábějí se např.: prototypové vstřikovací formy s tvarovými komponenty z hliníkových slitin s výrazně nižšími náklady na obrábění proti nástrojové oceli, oslovují se výrobci náradí z levnějších trhů, nákupci intenzivně vyjednávají se stávajícími evropskými dodavateli o cenách, apod.

V některých případech ale není možné zajistit kovovou vstřikovací formu, přestože je nutné konkrétní komponent těsnění fyzicky připravit. Tato situace může nastat v případě, že není dostatek času na konstrukci a výrobu standardního nástroje, případně nejsou v projektu potřebné finanční prostředky. Jedná-li se o vzorky na zástavbové zkoušky, nebo jen na ukázkou, využívá se běžně 3D tiskárny. Moderní zařízení dokážou vytisknout vzorky se vzhledem a vlastnostmi např. elastomeru. Takto získaný díl ale nelze použít pro funkční a životností testování. Nejblíže vlastnostem dílů ze sériového materiálu (tzn. TPE, EPDM apod.) se dosahuje při odlévání PUR do silikonových forem.

Z těchto důvodů byla zadána tato diplomová práce, která si klade za cíl připravit a ověřit proces výroby dvoukomponentního dílu (standardně vyráběného 2K vstřikováním) právě metodou odlévání do silikonové formy. Takto získaný díl bude dále podroben běžným testům, které jsou předepsané pro sériová těsnění. Bylo zvoleno těsnění spáry A-sloupku z automobilu BMW F52 z produkce firmy Henniges Automotive. Vstupem pro získání 3D dat dílu je reálný vzorek, který bude naskenován a záznam v CAD softwaru rekonstruován. Model pro výrobu silikonové formy bude připraven 3D tiskárnou.

V závěru se objeví konkrétní doporučení ohledně procesu přípravy nástrojů a informace k jakým typům zkoušek jsou takto získaná prototypová těsnění vhodná.

2. TEORETICKÁ ČÁST

2.1. Těsnící systémy osobních automobilů

Těsnění karoserie zabezpečuje celá řada dílů, které lze obecně rozdělit do 3 skupin: statická těsnění, dynamická těsnění a samostatnou kapitolu tvoří obštíky skel.

2.1.1. Statická těsnění

Pojem statická těsnění se odvíjí od převažujícího statického zatížení funkčních těsnících prvků, vyvolaného předpětím k zasklení vozu. Do této kategorie patří vedení skel, vnější a vnitřní stírací těsnění.

a) Vedení skel

Díl sestává ze třech (a více) koextrudovaných těsnících profilů, které jsou dohromady spojovány vstřikovanými formovými díly (viz obr. 2.1). Materiálem vytlačovaných profilů je TPE nebo EPDM. Profily, které jsou na voze fixovány na rovný plech označovaný jako „stojina“, jsou opatřeny kovovou výztuží, případně polypropylenovým U profilem (viz obr. 2.2). V případě profilů z EPDM se s výhodou používá pro vstřikování spojů mezi profily speciální typy TPE namísto EPDM. Taková těsnění se pak označují jako „hybridní“.

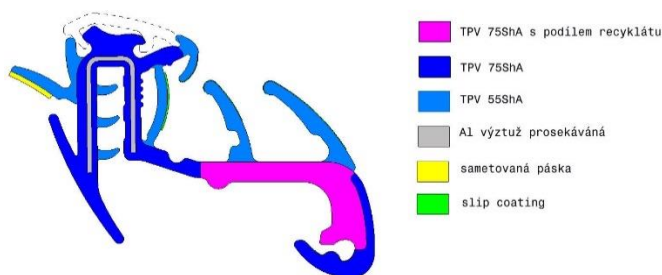
Kluzné vrstvy profilů jsou buď sametované, lakované a v případě TPV profilů tvořené materiálem označovaným jako „slip coating“, který je vytlačován zároveň s profilem. Typ použité vrstvy záleží na její funkci. Plochy, které jsou v kontaktu se spouštěcím sklem, jsou vždy sametované, nebo je tvoří „slip coating“. Plochy, které jsou v kontaktu s lakem karoserie se zpravidla sametují.

Hlavní funkcí dílu, kromě těsnění proti vnikání vody, nečistot a hluků do interiéru, je podpora skel při spouštění. Ta je zajišťována rovnováhou sil, generovanou těsnícími prvky profilů, které tvarem připomínají jazyk, proto se tak běžně označují. Každý z nich má předepsanou reakční sílu na kompresní zatížení. Tuhost jazyků je primárně dána tvarem a tvrdostí použitého elastomeru. Ladění tvaru profilů probíhá vždy pomocí výpočtů FEM analýz. Důležitou zpětnou vazbou z prototypové fáze je porovnání výsledků měření reakčních sil na zatížení tlakem na profilech z reálné výroby s vypočtenými hodnotami.

Konstrukce profilů se liší podle toho, jedná-li se o těsnění rámečkových dveří (např. Škoda Fabia A04), dveří se skrytým rámečkem (např. VW Golf A7), či bezrámečkové provedení (např. Audi TT). Střešní profily u provedení se skrytým rámečkem bývají rovněž využívány jako nosiče hliníkové, ozdobné lišty (viz obr. 2.2).



Obr. 2.1: Vedení skel [2]



Obr. 2.2: Střešní profil s nosičem ozdobné Al lišty

b) Vnější stírací těsnění

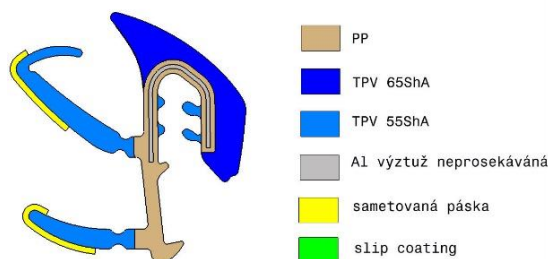
Ve většině případů se jedná o TPV profil s PP jádrem, který má za úkol utěsnit oblast vnitřního prostoru dveří (dále jen dveřní šachta) z vnější strany (viz obr. 2.4). Z vnitřní strany má podobnou úlohu vnitřní stírací těsnění. Některé automobilky stále preferují EPDM profily s hliníkovou prosekanou výztuží. Ty se, podobně jako vedení skel, mohou vyrábět v hybridním provedení s TPE koncovkami namísto EPDM, jako vedení skel.

Profil je usazen na lem vnějšího plechu dveří a vnější výztuhy šachty (viz obr.2.3). Tenký hliníkový pásek uvnitř PP jádra se používá z důvodu délkové stabilizace při změnách teplot. Koncovky dílu jsou formové, vstřikované díly z TPE. Často díl slouží jako nosič ozdobné Al lišty. Jak vyplývá z názvu, další funkcí dílu je setření vody ze skla při spouštění do oblasti dveřní šachty, což zajišťuje těsnící jazyk opatřený sametováním. Vozy vyšších kategorií mívají stírací jazyky dva. Často vyskytovanou závadou je ztráta stírací funkce u starších dílů způsobená trvalou deformací těsnícího jazyka. Spouštěcí sklo totiž při pohybu do dveřní šachty nemá celou dobu konstantní odstup od vnějšího stíracího těsnění. Nové těsnění dokáže tento rozdíl pokrýt. Starší díl při oddálení skla směrem z vozu ztrácí přítlak a kapky z povrchu nesetře.

V některých případech, zejména u karoserií typu hatchback a liftback, bývá na zadních dveřích profil stíracího těsnění spojen s pevným (trojúhelníkovým) sklem. Profil je po nasekání a nastříknutí koncovky B-sloupku vložen do formy společně se sklem, plastovým dělicím sloupkem, klipy a jinými komponenty. Následně dojde k obstříknutí celé sestavy v jeden celek prostřednictvím elastomeru.



Obr. 2.3: Vnější stírací těsnění [2]



Obr. 2.4: Vnější stírací těsnění profil

2.1.2. Dynamická těsnění

Do oblasti dynamických těsnění lze zahrnout širokou škálu dílů. Pro účely diplomové práce budou vybrány následující: vnitřní těsnění dveří, prahové těsnění a těsnění spáry A-sloupku.

a) Vnitřní těsnění dveří

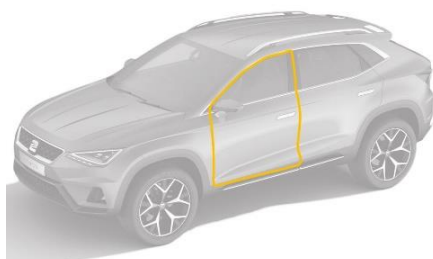
Jedná se o druhou (resp. třetí) těsnicí linii (první tvoří vnější jazyk vedení skla), která je namontována na postranici karoserie (viz obr. 2.5) metodou roll-forming (aplikace robotem s montážními rolkami). Profily se vyrábějí ve dvojím provedení. S rozevřenou výztuhou pro sériovou montáž robotem – viz výše. V sevřeném stavu pro aplikaci palicí pro montáž v auto servisech.

Profil je z materiálu EPDM s kovovou prosekanou a dlouženou výztuží, těsnicí prvek bývá obvykle z porézní pryže. Díly se historicky spojovaly formovým dílem – vstřikováním EPDM, ale mnohem efektivnější je současná metoda aplikace svařování PE folií.

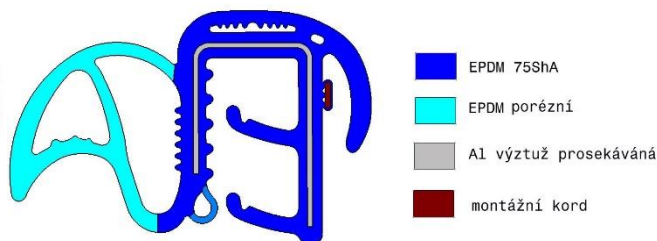
U vozidel vyšších kategorií se objevují těsnicí linie tři. První, jak již bylo uvedeno, tvoří vedení skla. Druhou vnější těsnění dveří (nalepené, nebo přiklipované přímo ke dveřím) a třetí právě vnitřní těsnění. U vozidel nižších tříd vnější těsnění odpadá, a proto jsou na funkčnost vnitřního těsnění kladeny vysoké nároky.

Jak je patrné z obrázku 2.6, těsnicí element má uzavřený tvar běžně označovaný jako bublina. Tím, že profil kopíruje tvar dveří, musí bublina procházet relativně malými rádiusy, v nichž se nesmí bortit. Toho se docílí buď geometrií (vzpěry, tvar apod.), nebo se využívá technologie variabilní extruze. Ta spočívá v tom, že v průběhu vytlačování dochází pohybem mechanického trnu v hubici ke změně průřezu. Lze tak nastavit větší tloušťka stěny bubliny v místě rádiusu a tím eliminovat její borcení.

Pro usnadnění montáže krycího jazyka se používají montážní šňůry vytlačované společně s profilem.



Obr. 2.5: Vnitřní těsnění dveří [1]



Obr. 2.6: Vnitřní těsnění dveří – profil

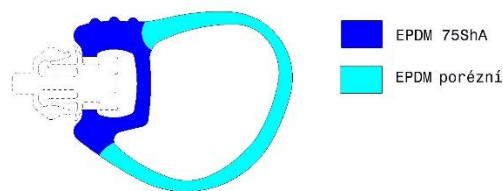
b) Prahové těsnění

Tento díl se objevuje v oblasti prahu na vozech středních a vyšších tříd (viz obr 2.7). Eventuálně jej výrobci aplikují na vozy, u nichž lze předpokládat provoz v prašném prostředí. V případě použití vnějšího těsnění dveří se prahové těsnění nepoužívá. Profil bývá velmi jednoduchý, upevněný na karoserii plastovými klipy (viz obr. 2.8).

Některé dražší automobily z produkce např. BMW nebo Audi mívají tento díl opatřený tvarovými, vstřikovanými koncovkami. Vozy střední třídy bývají bez koncovek a nižší střední třída prahové těsnění zcela postrádá. Prémiové značky, jako je např. Porsche používají v této oblasti 2K vstřikované díly.



Obr. 2.7: Prahové těsnění [1]



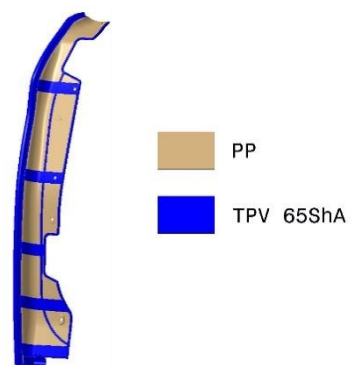
Obr. 2.8: Prahové těsnění – profil

c) Těsnění spáry A-sloupku

Uzavírá prostor mezi blatníkem a předními dveřmi v oblasti dveřní spáry, kde zabraňuje zejména vnikání prachu a snižuje aerohluky (viz obr. 2.9). Využívá se opět na vozech vyšších kategorií. Jedná se o dvoukomponentní díl vyráběný vstřikováním s dodatečně lakovaným funkčním jazykem, který je ke karoserii upevněn plastovými klipy (viz obr. 2.10). Pevný nosič bývá z PP, těsnící jazyk z TPE a upevňovací klipy z POM.



Obr. 2.9: Těsnění spáry A-sloupku – umístění na voze [1]



Obr. 2.10: Těsnění spáry A-sloupku

2.1.3. Obstříky skel

Jedná se o kategorii dílů, jejichž společným rysem je obstřík skla (označovaný jako „enkapsulace“) a dalších komponentů v jeden celek dávkou elastomeru ve vstřikovací formě. Obstříky skel, které jsou součástí dveří, se označují pevná, případně trojúhelníková skla. Druhou skupinu tvoří boční skla, což jsou díly lepené do postranice za C-sloupek.

a) Pevné sklo

V zadních dveřích se objevují dva typy pevných skel. Karoserie typu hatchback, případně liftback mají pevné sklo spojené s vnějším stíracím těsněním (viz obr. 2.13 a 2.14). Pevná skla pro verze kombi jsou separátním dílem (viz obr. 2.11 a 2.12). Existují případy kdy i karoserie liftback má sklo umístěné separátně (např. Škoda 251 Rapid). Záleží na designových požadavcích automobilky.

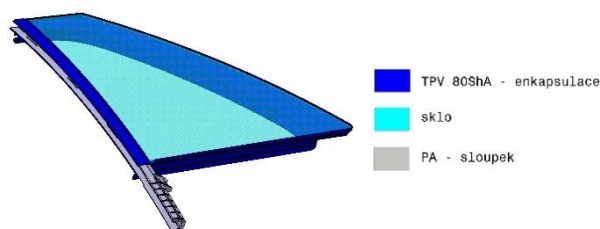
Do vstřikovací formy se zakládá ořezaná tabule skla, dělicí sloupek (obvykle plastový) a další plastové vložky (klipy, vymezovače polohy apod.). Následně dojde k obstříknutí dávkou TPE. Materiály, které se svou chemickou podstatou od TPE liší, musí být ošetřeny chemickou látkou, která je označována jako primer. Ta zajistí požadovanou adhezi mezi vkládaným dílem a obstříkem. U verzí s integrovaným, vnějším, stíracím těsněním se navíc vkládá nasekaný, vytlačený profil.

Některá pevná skla slouží jako nosiče ozdobných, hliníkových lišt. Ty jsou ve většině případů lepené pomocí oboustranných pásek. Před jejich aplikací se povrch nástřiku musí rovněž ošetřit primerem.

Využívají se vertikální vstřikovací stroje, zakládání komponent a vyjímání výstřiků je z důvodu tvarové komplikovanosti možné pouze lidskou obsluhou. Výjimkou je aplikace primeru na sklo, která se provádí roboticky.



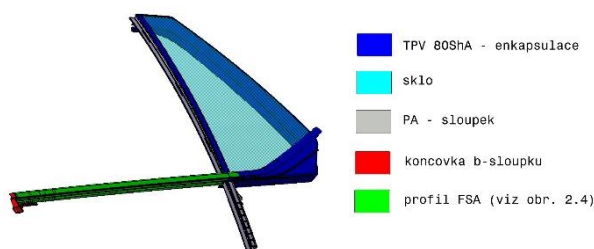
Obr. 2.11: Pevné sklo bez napojení na vnější stírací těsnění – karoserie kombi [2]



Obr. 2.12: Pevné sklo bez napojení na vnější stírací těsnění



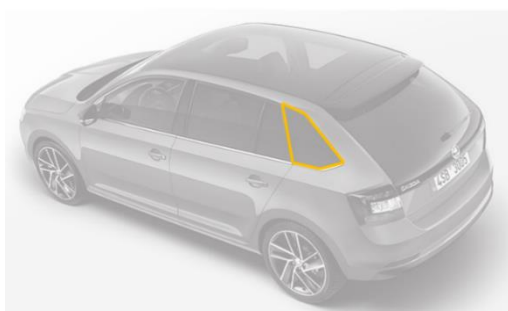
Obr. 2.13: Pevné sklo s napojením na vnější stírací těsnění – karoserie hatchback [2]



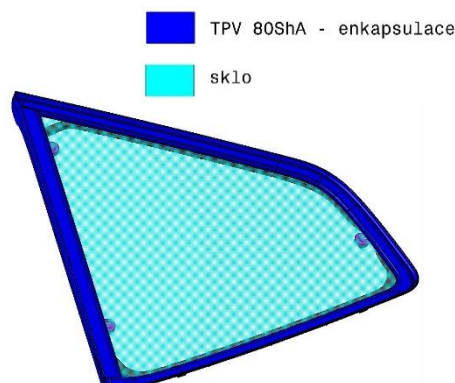
Obr. 2.14: Pevné sklo s napojením na vnější stírací těsnění

b) Boční sklo

Naproti tomu výroba bočních skel (viz obr. 2.15 2.16) umožňuje ze všech procesů výroby těsnění nejvyšší míru automatizace. Do formy se zakládá sklo a plastové klipy jednoduchých tvarů. Odformování dílu není tak komplikované. Díky těmto předpokladům lze pracoviště plně automatizovat. Používají se horizontální vstřikovací stroje. Díly se musí nakonec opatřit speciálním primerem pro zajištění adheze mezi sklem a lepidlem, které se na díl nanáší před montáží skla do karoserie. Rovněž boční skla bývají nosiči ozdobných lišt, zpravidla lepených.



Obr. 2.15: Boční sklo – umístění na voze [14]



Obr. 2.16: Boční sklo

2.2. Funkční a vzhledové požadavky na těsnění v automotive

Veškeré požadavky na funkci a vzhled dostává výrobce těsnění již ve fázi poptávky jako součást zadávací dokumentace – označované jako LAH (něm. Lastenheft). Je důležité věnovat prostudování těchto dokumentů zvýšenou pozornost, protože každý zákazník má svoje specifika.

Stává se, že již dopředu dodavatel najde parametr, který jeho výrobní proces, či používané materiály nemohou splnit. Podle závažnosti se pak rozhoduje, zda bude díl nabízet s tím, že bude problematický prvek ošetřen výjimkou z normy, nebo rovnou ze soutěže o projekt odstoupí. Velmi často se jedná o délkové tolerance, nebo specifické požadavky na

použité materiály. Požadovaná odchylka se pak zanesle do tzv. DPI listů (angl. detail product information). To jsou technické popisy dílů, obsahující informace o průřezech a délkách profilů, objemech formových dílů a zejména nestandardních požadavcích na výrobu, či materiál. Konkrétní rozbor DPI je v kapitole proces vývoje.

Funkční požadavky na těsnící profily jsou: reakční síla na kompresní zatížení, trvalá deformace těsnících prvků, nárazecí a zádržné síly. U kluzných ploch se kontroluje dodržování předepsaného součinitele tření a odolnost kluzné vrstvy proti abrazivnímu namáhání. Ze vzhledových parametrů je to pak barva a lesk, stálost vzhledu povrchu dílu při dlouhodobé expozici v extrémních podmínkách. Na profilech se nesmí vyskytovat vady. Nejtypičtější je u profilů s kovovou, prosekávanou výztuží tzv. „hungry horse“ efekt. Velmi často se nečistoty v tavenině projevují částicemi v povrchu profilu. Norma například stanoví maximální počet a průměr nečistot na určité ploše. Hodnotí se chemická odolnost profilů celé řadě látek.

Reakční síla na kompresní zatížení se u těsnících prvků definuje na začátku konstrukce. Musí zajistit bezpečné dotěsnění, ale zároveň nesmí být příliš vysoká, aby nedošlo k omezení dalších funkcí (např. u sloupkových profilů vedení skel způsobí velká reakční síla ke sklu nárůst spouštěcích sil na bubínku mechanismu spouštěče, u těsnění pátých dveří narůstá potřebná síla pro zavření dveří apod.) Reakční síly se ve výrobě měří na jednoúčelových zařízeních, každý profil má specifický přípravek, ve kterém dojde ke stlačení těsnícího prvku na hodnotu, která odpovídá reálnému stlačení na vozidle. Definována je vždy reakční síla na určité délce profilu (např. 25 ± 5 N na 200 mm délky). [15]

Měření trvalé deformace má za cíl vymezit maximální ztrátu přitlaku těsnícího prvku v čase. Profil se založí do přípravku, těsnící prvek je stlačen na definovanou hodnotu a definovanou dobu. Hodnotí se pozice těsnícího prvku po odlehčení. Trvalá deformace se měří ve dvou režimech. Expozice 94 hodin za pokojové teploty a tentýž čas při 70 °C. [18]

Reakční síly se dají relativně snadno ovlivňovat geometrií těsnících prvků (jazyků, či bublin), případně tvrdostí použitého elastomeru. Původní návrhy vycházejí z podobných profilů v portfoliu výrobce, následně se precizují ve FEM simulacích. V případě, že reálné náměry při výrobě profilů jsou přesto mimo tolerance, dochází k zásahům do extruzního nářadí (hubice, kalibrace).

Horší problém je trvalá deformace. Ta se dá sice rovněž ovlivnit designem profilu a použitým materiálem, ale korekce ve výrobě jsou velmi omezené. Je důležité dodržovat základní principy při konstruování profilů, které se poměrně výrazně liší pro profily z TPE a EPDM.

Funkčním požadavkem na díly, který garantuje výrobce těsnění, je zejména rozměrová přesnost dílů. U vstřikovaných spojů se pak měří odolnost proti roztržení, jak

staticky na stroji pro zkoušku tahem, tak dynamické namáhání. Ze vzhledových parametrů jsou to předepsané tloušťky vstřikovaných spojů, barva a lesk.

Funkční požadavky na díly v zástavbě většinou ověřuje zákazník. Primárně se jedná o montovatelnost, vodotěsnost, eliminaci aerohluků, odolnost povětrnostním vlivům. Etalonem pro zástavbové požadavky je frézovaný model karoserie a dveří, který se označuje jako „cubing“. Někteří zákazníci vyžadují po dodavatelích, aby si nechali rovněž vyrobít část vozu sousedící s dodávaným dílem. V případě, že se objeví problém s rozměry dodávaných dílů, či jiná reklamace z montáže, je dodavatel pozván na měrové středisko u zákazníka, kde se právě na „cubingu“ dodávané díly kontrolují a hodnotí. Tento nástroj bývá v praxi velmi často využíván z důvodu problémů, které vznikají využíváním tolerancí karoserie a dodávaných dílů.

Každá automobilka má svoje soubory norem, ve kterých jsou veškeré požadavky detailně definovány. Vyšší nároky na kvalitu přirozeně prodražují výrobu, proto je snaha hledat rozumný kompromis. Některé díly, mají velmi malou přidanou hodnotu z důvodu jednoduché výroby Např.: těsnění kapoty (díl s jednoduchými seky, bez koncovek). Zde hraje roli každý milimetr tolerančního pole navíc, který se podaří s automobilkou vyjednat. Širší tolerance pozitivně ovlivní CPK – výsledná úspora je daná primárně nižší potřebnou četností měření a likvidace rozměrových zmetků ve výrobě. Zmetkovitost se běžně označuje anglickým slovem „scrap“.

Některé díly se dost komplikovaně začišťují. Příkladem je pevné sklo. Aby sklo mělo dostatečnou adhezi k nastříknutému elastomeru, musí být ošetřeno chemickým primerem. Primer nanáší před vstřikováním robot houbičkou, která se časem deformuje a nanášená vrstva primeru tak zasahuje do pohledové oblasti za hranou nástřiku. Tento materiál se musí začišťovat žiletkou, což je ruční práce vyžadující značnou zručnost s výrazným rizikem, že dojde k nevratnému poškození dílu. Podaří-li se díl nakonstruovat tak, aby případné přetoky primeru nebyly v pohledové oblasti, tudíž nebylo třeba je začišťovat, dojde ke značným úsporám ve výrobním procesu.

2.3. Technologie pro výrobu těsnění dveří a kapoty v automobilovém průmyslu

Většinu procesu při výrobě těsnění představují tvářecí technologie: vytlačování profilů a vstřikování. Dále se objevují doplňkové technologie jako je sametování, nebo lakování, dělení profilů, lepení ozdobných lišt apod.

2.3.1. Vytlačování profilů

Těsnicí profily jsou vyráběny vytlačováním. Technologie se provádí na vytlačovacích strojích neboli extrudérech. Vytlačovací stroj se skládá z pevného rámu, ve kterém je uložen pohonný elektromotor s plynule říditelným počtem otáček a převodovka na pracovní šnek. Šnek se otáčí v plastikační komoře, zahřívané elektrickými topnými pásy. Na začátku komory je násypka na zpracovávaný granulát a na opačném konci příruba pro nasazení vytlačovací hlavy. Délka šneku, udávaná jako násobek jeho průměru, bývá (20 – 40) · D. Šnek surovinu dopravuje od násypky do ohřívaných pásem a dále k vytlačovací hlavě. Válec, v němž se šnek pohybuje, má minimálně tři pásma, vstupní, přechodové a výstupní, každé se samostatným topením a teplotní regulací. Při průchodu válcem se materiál promíchává, homogenizuje, převádí do plastického stavu, temperuje na potřebnou teplotu a pod tlakem vytlačuje přes tzv. lamač, který provádí další homogenizaci, do hubice. Sestavě, ve které probíhají tyto pochody, se říká plastikační jednotka. [3]

Při vytlačování elastomerů, které při výrobě získávají zesíťovanou strukturu, musí proběhnout vulkanizace. V minulosti tato probíhala diskontinuálně v autoklávu. V současné době se využívá kontinuální vulkanizace, která má dva kroky. Ohřev směsi na vulkanizační teplotu (může být víc než 180°C) a udržování na vulkanizační teplotě.

2.3.1.1. Metody kontinuální vulkanizace

Smyková hlava

Princip spočívá v protlačování materiálu kolem rychle rotujícího trnu na konci extrudéru. K nárůstu teploty tedy dojde v důsledku disipace smykové energie. Za smykovou hlavou je zařízení pro udržení vulkanizační teploty – horký vzduch, nebo solná lázeň.

Výhody:

- Nižší spotřeba energie v porovnání s UHF (kratší vulkanizační dráhy)
- Při výstupu z extrudéru je materiál částečně navulkanizovaný – tvarově stálější => menší náchylnost na otlaky extrudátu od odtahovacího pásu apod.

Nevýhody:

- Vyšší požadovaná přesnost regulace teploty směsi při vstupu do smykové hlavy.
- Vyšší nároky na kvalitu směsi.
- Vyšší zátěž extrudéru z důvodu vyššího tlaku při vstupu do smykové hlavy.

Solná lázeň

Extrudát prochází horkým kapalným médiem tvořeným KNO_3 (53%) + NaNO_2 (40%) + NaNO_3 (7%) s teplotou tání kolem 150°C . Tato metoda je vhodná pro tenkostěnné výrobky.

Výhody:

- Velmi dobrý přestup tepla z lázně do výrobku.
- Vulkanizace v nepřítomnosti vzduchu.

Nevýhody:

- Velká hustota roztavené soli $1,9\text{g/cm}^3$. Extrudát musí být mechanicky držen pod hladinou, což způsobuje otlaky a deformace.
- Problémy se zasolenou chladicí vodou.

UHF

Mikrovlnný ohřev, kdy je extrudát ohříván střídavým elektrickým polem s frekvencí 2450MHz , které vyžaduje k ohřevu dipólovou polarizaci. Z toho plyne, že vytlačovaná směs musí být polární. Do nepolární směsi se musí přidávat polární přísady.

Výhody:

- Urychlení vulkanizace tlustostěnných výrobků

Nevýhody:

- Nutnost zajištění polarity směsi.

Fluidní lože

Teplo na extrudát přenáší vyhřáté skleněné kuličky (balotina) udržované ve vznosu.

Výhody:

- Intenzivnější přenos tepla než při použití horkého vzduchu

Nevýhody:

- Zanášení povrchu kuliček přísadami kaučukové směsi

Horkovzdušný ohřev

Horkovzdušný ohřev je poměrně pomalý, protože koeficient přestupu tepla ze vzduchu do kaučukové směsi je nízký. Zařízení potřebná pro vulkanizaci extrudátu pouze pomocí horkovzdušného ohřevu by proto byla dlouhá. Časté jsou kombinace smyková hlava/horký vzduch, nebo UHF/horký vzduch, kde horkovzdušný ohřev zajišťuje pouze udržení vulkanizační teploty. K urychlení počátku ohřevu při horkovzdušném ohřevu může být použit i turbulentní horký vzduch s teplotou 400 až 600°C , nebo infraohřev. (Při intenzivním ohřevu se na povrchu výtlačku rychle vytvoří tenká vrstva vulkanizátu.)

Výhody:

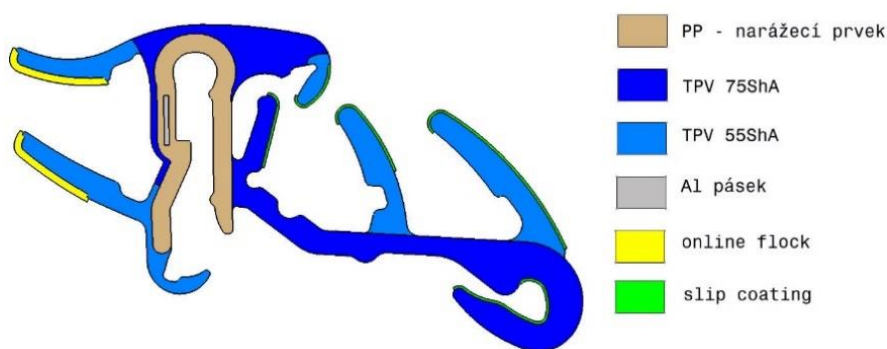
- Technicky méně komplikované, vhodné jak pro polární, nepolární směsi.

Nevýhody:

- Samostatný horkovzdušný ohřev by vyžadoval velmi dlouhé linky.

2.3.1.2. Význam koextruze pro těsnící profily

Z funkčních, optických a úsporných důvodů je požadováno použití různých materiálů v jednom profilu. Z toho důvodu se používá technologie koextruze, kdy je k vytlačovací hlavě připojeno více extruderů. Minimální zastoupení tvoří základní, nosná směs obvykle tvrdosti 75ShA na kterou jsou napojené funkční těsnící prvky z měkčích, nebo mikroporézních směsí (viz obr. 2.17). V případě vytlačování profilů z TPV může být upevňovací prvek profilu tvořen PP. Obecně základem pro statická a dynamická těsnění je vytlačování EPDM a TPE směsí.



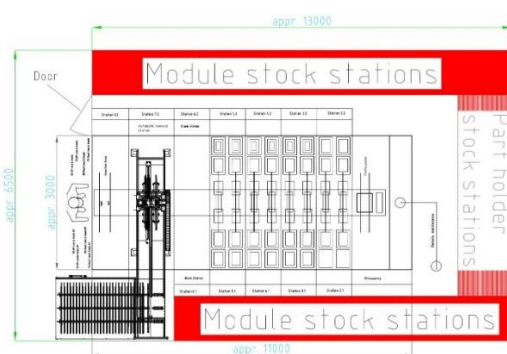
Obr. 2.17: Střešní v profil s PP jádrem

2.3.1.3. Vedlejší výrobní operace integrované do extruzních linek

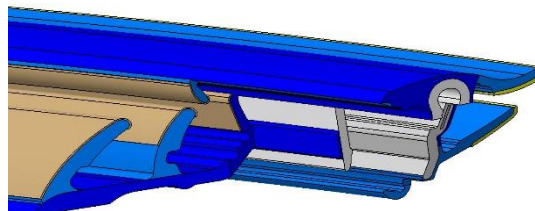
Extrudované profily jsou ve výrobní lince často opatřeny kluznou vrstvou. Standardem pro kontakt se spouštěcím sklem u statických těsnění (vedení skel, vnější a vnitřní stírací těsnění) je sametování. Pro díly, které nejsou tolik abrazivně namáhány lze použít různé typy stříkaných či natíraných laků. Moderní kluznou vrstvou, která se častěji objevuje u TPE profilů je koextrudovaný „slip coating“. Na konci linky jsou profily nařezané na tzv. „předdélky“ a mezioperačně uskladněny. Některá dynamická těsnění vyžadují z důvodu stáčení vytlačeného profilu do košatin vrtání odvětrávacích otvorů, což může být rovněž provedeno v extruzní lince.

2.3.2. Dělení extrudovaných profilů

Druhou operací je sekání profilů. Tvarová složitost se liší podle typu těsnění. Dynamická těsnění, jako je např. vnitřní těsnění dveří, jsou zakončena jednoduchou, normálovou plochou. Profily pro vedení skel, které jsou později spojeny vstřikovanými rohy do těsnícího rámu, mají mnohdy tvarově náročná zakončení, sekaná v několika krocích (viz obr. 2.19). Nejkomplikovanější zařízení pro dělení profilů se označuje postupová, či taktová sekačka (viz obr. 2.18). Jedná se o zařízení, které sestává z několika stanic, které jsou opatřeny pneumatickými, sekacími moduly. Na začátku stroje jsou „předdélky“ profilů zakládány do vozíků, které pak automaticky prochází taktovou sekačkou a v každé stanici jsou provedeny dílčí „seky“.



Obr. 2.18: Schéma taktové sekačky [1]



Obr. 2.19: Tvarové seky střešní profilu [1]

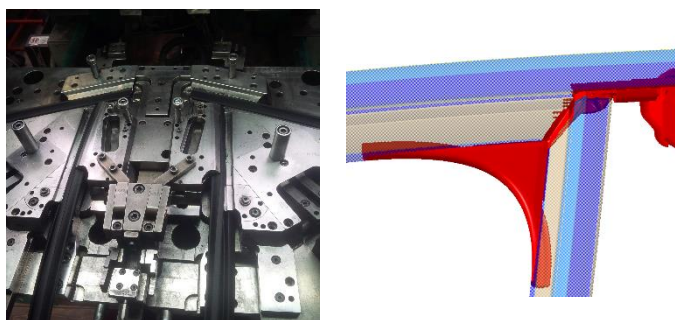
2.3.3. Vstřikování koncovek

Poslední výrobní operací je nastřikování koncovek, případně spojování profilů prostřednictvím vstřikovaných rohů. Výjimku tvoří spojování „hadicových profilů“ jako je např. těsnění pátých dveří. Zde se s výhodou využívá svařování pomocí PE folií. Profily pro vedení skel jsou spojovány ve formových dílech. Trendem posledních let je použití TPE směsí jak pro TPE tak EPDM profily. Důvodem je snazší zpracovatelnost a kratší cyklus než u původních EPDM rohů pro EPDM profily. Takto vyráběné díly (EPDM extruze, TPE rohy) se běžně označuje jako hybridní.

Vstřikování je proces tváření plastů, při kterém je roztavený polymer tlakem dopravován do dutiny formy, kde ztuhne a zaujme finální tvar. [4]

Vstřikovací stroje pro spojování profilů jsou vertikální. Z důvodu designových omezení, vznikají na formových dílech velmi často podkopy. Není vždy možné se jim vyvarovat, proto jsou formy dělené na několik částí, které mají různé odformovací směry, tak aby bylo možné výstřik vůbec z nástroje bez poškození vyjmout. Konstruktor dílu musí být v úzkém kontaktu s konstruktérem nástroje, aby výsledný nástroj vyšel co nejjednodušší.

Samotný proces zastříknutí spoje začíná založením spojovaných, nasekaných profilů do nástroje (viz obr. 2.20). Z důvodu přesného pozicování profilů, jsou ve formě stavitelné dorazy. Poté dojde k zavření formy, vstřiku a chlazení. Následně jsou profily s formovým dílem co možná nejopatrněji vyjmuty z nástroje. Nejčastější problémy, které technologové řeší, se týkají špatně založených profilů a praskání spojů. V některých případech je odpor proti zakládání profilů značný a je nutné konstruovat mechanické, zakládací přípravky. Praskání spojů úzce souvisí se stářím „seků“. Po určité době po nasekání profilů dochází k oxidování povrchu „seku“. Navíc na této ploše ulpívá prach a nečistoty, což v konečném důsledku způsobí nesoudržnost profilu s formovým dílem. Další příčinou může být špatně zvolené odvzdušnění formy. V místech s problematickým uzavíráním vzduchu se někdy úmyslně vytváří drážky pro přetoky. Finální operací před měřením a balením je začišťování. Dochází k odstranění zbytků vtoku, přetoků, zmatňování povrchu apod.



Obr. 2.20: Tvarová dutina spodního dílu formy A-sloupku, zobrazení formového dílu v datech vedení skla [1]

2.3.4. Vícekomponentní vstřikování

Technologie vícekomponentního vstřikování kombinuje 2 a více různých polymerních materiálů. Je založena na vytvoření spoje mezi použitými polymery v rámci jednoho výrobku buď pomocí adhezních sil, anebo zastříknutím tvarové geometrie u polymerů bez vzájemných adhezních vazeb. V současné době je tato technologie stále více používána na plastové výrobky obsahující kombinace termoplastu a termoplastického elastomeru. To je případ i aplikace originálu dílu, který je předmětem experimentální části diplomové práce. Pevnou část dílce tvoří polypropylen s obsahem talku, měkký komponent je termoplastický vulkanizát. [5]

Vstřikovací forma musí umožnit vstřik rozdílných plastů během jednoho vstřikovacího cyklu, z toho důvodu je k ní připojen příslušný počet vstřikovacích jednotek. Mezi nejdůležitější pracovní činnosti u technologie vícekomponentního vstřikování patří překládání výlisků z jedné tvarové dutiny do další tvarové dutiny vstřikovací formy.

2.3.4.1. Způsoby překládání výstřiků při vícekomponentním vstřikování

Rotace poloviny formy kolem vodorovné osy

Jedna polovina formy se natáčí k jednotlivým vstřikovacím jednotkám podle nastavených technologických časů. Rotační pohyby mohou být buď alternující (dvoupolohová vstřikovací forma), nebo spojitě (třípolohová vstřikovací forma).

Rotace poloviny vstřikovací formy kolem svislé osy

Střední deska se otáčí k druhé polovině vstřikovací formy. Vstřikovací jednotky vstřikují proti sobě a odděluje je jen tloušťka otočné desky, čímž dochází ke snížení uzavíracích sil, protože taveniny polymerů působí vstřikovacím tlakem proti sobě.

Rotace indexové desky kolem vodorovné osy

Indexová deska je otočná část pohyblivé poloviny vstřikovací formy. Princip a ovládání jsou shodné s rotačně otočnou částí vstřikovací formy kolem vodorovné osy.

Použití pohyblivého tvárníku, šoupátka

Využívá se hlavně u plastových dílů buď při místním nástřiku druhého plastu, anebo při nástřiku měkkého plastu na tvrdý plast. Posuvná tvarová část vstřikovací formy uzavírá nebo otevírá tu část dutiny formy, která se má zaplnit taveninou plastu. Nevýhodou je někdy delší vstřikovací cyklus, protože se jednotlivé komponenty vstřikují postupně a ne najednou, jako tomu bylo u předchozích případů.

Použití robotu

Aplikace u větších plastových dílů nebo u plastových dílů vstřikovaných na dvou strojích. Nasazení robotů obvykle vede k prodloužení celkové doby vstřikovacího cyklu v důsledku delšího času potřebného k přemístění. Na druhé straně je použití robotů jedním z nejčastěji používaných způsobů překládání výrobků z jedné pozice do další pozice. [5]

Ruční překládání

Těsnění spáry A-sloupku, jehož prototypově vyrobený duplikát je předmětem experimentální části, se vyrábí ve dvou separátních formách na dvou lisech, mezi kterými je polotovár překládán lidskou obsluhou.

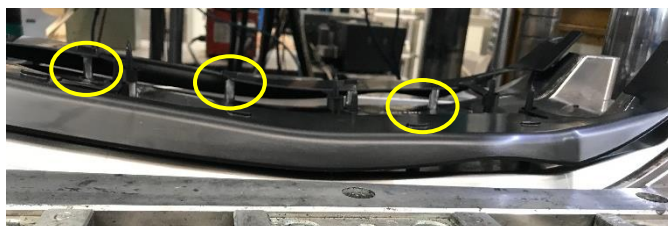
V první kroku dochází ke vstřikování PP nosiče ve dvou-otiskové formě na vertikálním lisu. Vyrábí se najednou polotovár pro pravý a levý díl.



Obr. 2.21: Tvarová dutina spodního dílu formy pro vstřikování PP



Obr. 2.22: Otevřená forma pro PP nosič na vertikálním lisu

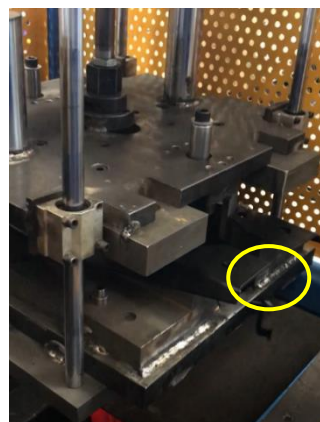


Obr. 2.23: Výstřiky PP nosiče, zvýrazněny nadzvednuté vyhazovače

Následně se díl překládá do zařízení, které odstraní zbytky po vtoku.



Obr. 2.24: Zařízení pro odstranění vtokových zbytků, zvýrazněny sekací nože



Obr. 2.25: Pracovní poloha stroje, zvýrazněný právě odseknutý vtok

V dalším kroku obsluha zakládá polotovár do formy, ve které dojde k nastříknutí těsnícího bříty z TPV.



Obr. 2.26: Pracovník zakládá polotovár do druhé formy



Obr. 2.27: Vyhození hotového výrobku s nástřikem TPV

2.3.5. Technologie lití ve vakuu

Jedná se o před-sériovou technologii, která slouží ke kusové výrobě prototypů. Běžně se touto metodou odlévají dílce z PUR, vosků či nízkotavitelných kovů. Fyzický model, nebo model vyrobený metodou Rapid Prototyping, se použije pro vytvoření měkké formy ze silikonu. Vakuum slouží pro odstranění vzduchových bublin jak z materiálu formy, tak z odlévaného materiálu a konečně podtlak vyvozený vývěvou slouží pro přivedení odlévaného materiálu do dutiny formy při vlastním lití. Detailní výrobní postup je předmětem experimentální části.

Vakuové licí pryskyřice, které se používají, mají podobné vlastnosti jako převážná většina materiálů pro plastové, gumové či skleněné díly. Jsou speciálně navrženy tak, aby vyhověly celé řadě požadavků, jako jsou tuhost, tepelná odolnost a schopnost detailně reprodukovat i ty nejmenší detaily, textury a barvy. Lze využít silikonových forem pro odlévání voskových modelů pro odlévání kovových dílů metodou vytavitelného modelu. Vyrobené díly mohou být použity pro ověření návrhu, mechanické testování, kontrolu tvarové věrnosti, případně pro zákaznické zhodnocení výrobku. [6]

2.4. Materiály těsnících systémů

2.4.1. EPDM

Nejběžnějším elastomerem používaným pro statická a dynamická těsnění je EPDM. Zpracovává se jak vytlačováním, tak vstřikováním.

EPDM je elastomer spadající do skupiny Etylen-propylenových kaučuků (EPR) což jsou kopolymery zvláště odolné proti povětrnostním vlivům, stárnutí, mnoha rozpouštědům, páře, horké vodě, zředěným kyselinám i zásadám. Jsou téměř nepolární, a proto neodolávají benzínu a minerálním olejům. Tvrdost se pohybuje od 40ShA do 90ShA. Teplota použití -50 až 177°C. [7] [9]

Přesné znění zkratky EPDM je terpolymer etylenu a propylenu s nekonjugovaným dienem. Tento polymer obsahuje dvojné vazby vyskytující se pouze na postranních substituentech. Díky nasycenému řetězci leží jeho odolnost vůči stárnutí mezi EPM (kopolymer etylenu s propylenem) a BR (butadienovým kaučukem). EPDM obsahuje zpravidla 5 až 10 % dienu, s jehož obsahem vzrůstá rychlost vulkanizace, která probíhá sítím. S rostoucím obsahem etylenu roste krystalinita kaučuku. [8]

Nevýhodou při zpracování EPDM vytlačováním je délka linek, energetická náročnost (ohřev profilu na dlouhé vzdálenosti) a ekologická zátěž (výpary při zpracování, nemožnost recyklace díky zesíťované struktuře).

2.4.2. Termoplastické elastomery

Termoplastické elastomery (TPE) jsou polymerní systémy, které spojují aplikační vlastnosti elastomerů a zpracovatelské vlastnosti termoplastů v důsledku přítomnosti měkkých, elastických a tvrdých segmentů ve struktuře. Tvrdé a měkké segmenty jsou navzájem nemísitelné, aby tvořily oddělené fáze. Měkké segmenty jsou tvořeny elastomerem (snadno se deformují a mají nízkou teplotu skelného přechodu) a tvrdé segmenty, které vytváří uzly sítě, jsou tvořeny amorfním nebo semikrystalickým termoplastem (obtížně se deformují, mají vysokou teplotu skelného přechodu nebo teplotu tání). [9]

2.4.2.1. Termoplastické elastomery vhodné pro vstřikování

TPO

Jedná se o polyolefinové směsi s plně vulkanizovanými elastomery (EPDM/PP, NBR/PP). Rozsah tvrdosti od 40ShA do 50ShD. Nejsou kompatibilní s POM a PVC. Materiál není navlhavý, sušení se používá v případě zpracování drtě, případně pro zlepšení povrchových vlastností výstřiku.

Teplota taveniny při vstřikování se pohybuje od 190 do 235°C (nad 250°C materiál degraduje). Teplota formy nejčastěji 20 až 40°C. Viskozita TPO závisí více na smykové rychlosti než na teplotě taveniny, a proto je efektivnější zvýšit vstřikovací tlak a vstřikovací rychlost, než zvyšovat teplotu taveniny.

Smrštění TPO vykazuje anizotropii a s rostoucí tvrdostí klesá. Vyšší teplota formy smrštění zvyšuje. Nárůst vstřikovací rychlosti, dotlaku a doby chlazení naopak vede ke snížení smrštění.

Jedním z typů TPO je TPV – termoplastický vulkanizát, který byl vyvinut firmou Monsanto na začátku 80-tých let minulého století a dodnes je na trhu dostupný pod obchodním názvem Santoprene. Běžně se s TPV setkáme u extrudátu statických těsnění (př. Škoda Kodiaq.).

Nezanedbatelnou výhodou produkce TPV těsnících profilů je čistý provoz bez výrazných exhalací v porovnání s produkcí EPDM.

TPS

Základem je směs termoplastické matrice + SEBS, SBS nebo SEBS/SBS, tj. styrenolefin blokový kopolymer (SEBS=Styren-etylen-Butylen-Styren). Rozsah tvrdosti 42ShA do 94ShA. TPS jsou hydrofobní materiály, které se před zpracováním suší horkým vzduchem 70 až 90°C/ 1 až 2 hodiny.

Teplota taveniny při vstřikování závisí na poměru matrice a SEBS. Pohybuje se od 180 do 270°C. Teplota formy podle tloušťky stěny od 15 do 60°C. Smrštění je anizotropní a s rostoucí tvrdostí klesá. Obdobně jako u TPO vyšší teplota formy vede k růstu smrštění, doba chlazení, vstřikovací rychlost a dotlak smrštění snižují.

TPS se používá na obštriky skel, méně často na extrudované profily.

TPU

Termoplastické polyuretany, polyuretanové bloky se střídají s elastomerními. Rozsah tvrdosti 80-98ShA do 75ShD. Jsou navlhavé, musí se sušit při teplotě 100 až 120°C/0,5 až max. 2 hodiny.

Teplota taveniny při vstřikování se podle tvrdosti pohybuje od 190 do 245°C. Doporučená teplota formy 20-30°C. Smrštění je anizotropní a závisí zejména na tloušťce výstřiku.

TPE-E

Termoplastický elastomer na bázi polyeteresteru a polyesteresteru, elastomerní fáze není vulkanizovaná. Rozsah tvrdosti od 40ShA do 74ShD. Viskozita nízká až střední. Je navlhavý sušení se provádí při 90 až 105°C po dobu 3 hodin.

Teplota taveniny při vstřikování od 220 do 250°C teplota formy pro díly s malou tloušťkou stěny je 50°C pro silnostěnné výrobky 20°C.

TPA

„Polyether Block Amid“ je směs tvořená lineárními a pravidelnými řetězci z tvrdých polyamidových segmentů a pružných segmentů polyeteru. Rozsah tvrdosti je 75ShA až 63 ShD. Materiál má vysokou rázovou houževnatost v rozmezí teplot -40 až +80°C a nízkou hustotu 1,01g/cm³. Nejpoužívanější typ PEBAX řady 33 má nízkou navlhavost a granulát v originálním balení není nutné sušit. Po 3 hodinách na vzduchu navlhne a je třeba jej vysušit suchým vzduchem o teplotě 40 až 80°C / 4 až 6 hodin.

Teplota taveniny při vstřikování se pohybuje v závislosti na tvrdosti od 180 do 280°C, teplota formy od 20 do 40°C. [11]

2.4.3. PP

Polypropylen je semikrystalický termoplast, jehož vlastnosti značně závisí na indexu izotakticity. Obchodní produkty polypropylenu obsahují vždy určitý podíl ataktické složky a

teplota tání je díky tomu od čistě izotaktického polypropylenu nižší. Jedná se o nepolární plast, který odolává polárním rozpouštědlům, kyselinám, zásadám a solím. Je hořlavý a má nejmenší hustotu ze všech nelehčených plastů 0,905 až 0,920g/cm³ (izotaktický). [9]

PP bez plniva se obvykle nesusí, pouze při uskladnění v nepříznivých klimatických podmínkách – vysoký teplotní rozdíl, vysoká relativní vlhkost – se odstraňuje povrchová vlhkost při 80 až 120°C / 2 až 3 hodiny. Teplota taveniny při vstřikování se pohybuje od 200 do 280°C a teplota formy od 20 do 60°C. Smrštění je anizotropické u neplněných typů 1,1 až 1,9%. [11]

PP se v těsněních pro automobilový průmysl používá jak vstřikovaný, tak extrudovaný. Vytlačovaný PP s podílem talku často tvoří nosnou a zádržnou část profilů vnějšího a vnitřního stíracího těsnění v kombinaci s TPV těsníci a pohledovými oblastmi. Vstřikovaný PP se používá na různé klipy a úchytky. Plastové vložky v TPV obstřiku skla bývají často z PP s podílem skla. Výhoda jejich použití spočívá v chemické příbuznosti vložky a materiálu obstřiku (TPV = EPDM + PP), a proto není nutné použití chemického primeru k dosažení optimální adheze.

Významnou nevýhodou PP je značný kríp a špatné mechanické vlastnosti při teplotách nad 80°C. Konstruktor musí s touto skutečností počítat a navrhovat mechanicky exponované oblasti, tak aby PP komponent nebyl nevhodně namáhán. Statická těsnění musí dlouhodobě odolávat teplotám přes 90°C.

Významnou výhodou PP je jeho nízká cena. Proto je tlak na jeho zastoupení v těsněních značný.

2.4.4. PA

Polyamidy jsou konstrukční, semikrystalické, lineární termoplasty charakterizované řetězcem, v němž se pravidelně střídají amidové skupiny –CO-NH- s větším počtem methylenových skupin –CH₂-. Vyrábějí se z různých monomerů, různými způsoby. Nejčastěji se setkáme s polyamidy: PA6; PA66; PA610; PA11; PA12 atd.

PA je silně polární, dobře odolává nepolárním rozpouštědlům, v silných kyselinách se rozpouští. Díky amidové skupině jsou mezi makromolekulami vodíkové můstky, což je relativně silná mezimolekulární vazba. Ta má za důsledek vysokou pevnost a vysokou teplotu tání PA. Se stoupajícím obsahem vody klesá pevnost a tuhost a roste houževnatost PA. [9]

Díky polárnímu charakteru jsou PA velmi navlhavé materiály. Při vstřikování by měl být obsah vlhkosti v granulátu menší než 0,2%. Navlhavost je u PA vratný proces, vysušený materiál po vystříknutí opět navlhá, což má za následek změnu tvaru a mechanických vlastností výstřiku. Proces navlhání se v některých případech uměle urychluje tzv. kondicionací. Ta se provádí expozicí na vzduchu, navozením tropického klimatu, nasycenou

párou, nebo ve vodě. V důsledku navlhnutí při 23°C / 50% relativní vlhkosti vzduchu dojde ke zvýšení hmotnosti dílu o cca 3%. Doba sušení před vstřikováním by neměla být u PA66 delší než 4 hodiny při 80°C, jinak dochází k termooxidaci sušeného granulátu.

Teplota taveniny PA 66 při vstřikování se pohybuje od 295 do 310°C. Teplota formy 50 až 90°C. Standardní PA 66 vykazuje malou anizotropii smrštění cca 0,85 %. [11]

Díky výborným mechanickým vlastnostem a vysoké teplotě tání (250 až 260°C pro PA66) lze používat na mechanicky namáhané komponenty těsnících systémů. PA 66 a PA 6 s podílem skelných vláken od 30 do 40% se používá například pro dělicí sloupky – součást pevných skel ve dveřích.

Nevýhodou je nutnost použití chemického primeru k dosažení adheze mezi nástřikem TPV a PA sloupkem.

2.4.5. PVC

Je nejvýznamnějším představitelem skupiny vinylových polymerů. Používá se neměkčený tvrdý typ PVC-U, měkčený PVC-P, zesítený PVC-UX a chlorovaný PVC-C. Jedná se o amorfni, polární termoplast, který neodolává chlorovaným rozpouštědlům. Za běžných teplot je pevný, tuhý a křehký s malou rázovou houževnatostí a malým sklonem ke krípu. Vlivem přítomnosti chloru je samozhášivý a bez stabilizace neodolává UV záření. [9]

Zpracování PVC je problematické z několika důvodů. PVC má špatnou tekutost a musí se zpracovávat při teplotách kolem 180°C, které se blíží teplotě rozkladu (190 až 200°C). Přitom dochází k uvolňování jedovatého chlorovodíku. Proto musí být na pracovištích zajištěno výkonné odsávání par. Navíc vstřikovaný materiál způsobuje korozi částí formy.

Pro výrobu enkapsulací skel se používá měkčené PVC. Díky přítomnosti změkčovadla má tavenina lepší tekutost. Tvrdost se pohybuje od 50 do 96 ShA, ale měkčené PVC nemá typickou pružnost kaučuku. [12]

2.4.6. PUR

Polyuretan je materiál, který může být semikrystalickým termoplastem, reaktoplastem, nebo elastomerem se sesítenou strukturou určeným pro odlévání. Vzniká reakcí vícefunkčních isokyanátů s polyalkoholy za vzniku uretanu.

Nejznámější aplikací PUR v sériové výrobě jsou lehčené materiály pro použití např. na matrace, či výplně sedaček. Směs výchozích složek isokyanátu, polyolu a dalších příměsí se nalije do formy, kde za běžných podmínek vypění a zaujme požadovaný tvar. Při reakci

složek vznikají uretanové vazby mezi polymerními řetězci a nadouvadlo plynný oxid uhličitý. [9]

Pro výrobu částí prototypových těsnění se používá PUR v podobě elastomeru. Výroba probíhá metodou vakuového lití do silikonové formy. Materiál se nakupuje jako dvousložková odlévací pryskyřice. Samotné odlévání probíhá za pokojové teploty. Odlitek musí být vytvrzen. Tento proces výrazně urychluje teplota (vytvrzení při 23°C / 144hod, při 70°C / 4hod). Teplotní použitelnost PUR odlitku splňuje požadavky na těsnění v automotive tj. -40 / +80°C. [13]

Detailní popis použití a vlastností odlitku z elastického PUR popisuje experimentální část.

2.5. Proces vývoje těsnění

2.5.1. Fáze poptávky

Oddělení vývoje vstupuje do projektu poprvé ve fázi soutěže o zakázku. Na základě vstupní dokumentace (LAH – viz dříve, poptávkové výkresy, případně data koncepčního vozu) sestavuje technický popis dílů (DPI), na jehož základě výrobní závod připraví kalkulace výrobních nákladů, investic a jednic. Tyto údaje prodejce zpracuje do nabídky. Kromě technického popisu ještě vývoj vypracovává odhad vývojových nákladů, které musí zahrnovat vedení vývoje projektu, CAD a CAE práce, zkoušky včetně přípravků.

DPI je dokument, ve kterém jde primárně o popis poptávaného dílu. Základem je schematicky vyznačený díl s označením jednotlivých profilů, formových dílů, plastových komponent, skla apod.

U profilů se podle zkušenosti, nebo na základě vstupních dat označí předpokládaná komplikovanost „seků“ a délka po nasekání. Jednotlivé profily jsou pak detailně rozpadnuty na materiály, kde se označuje typ materiálu a průřez v mm². U kovových výztuh profilů se pak uvádí, zda se jedná o výztuhu prosekanou, dlouženou, či drátovou.

Důležité je v DPI zdůraznit speciální (nestandardní) požadavky, nebo zmínit nereálný požadavek (např. příliš úzké tolerance). DPI nakonec dostává zákazník spolu s cenovou nabídkou tak, aby přesně věděl, co je mu nabízeno a za jakých podmínek. Kromě technických informací jsou v DPI zahrnuty i základní milníky projektu tj. zahájení sériové produkce (SOP angl. start of production) a ukončení výroby (EOP angl. end of production), předpokládaná roční produkce maximální a průměrná. Důležitým úkolem při zpracovávání DPI je dohledávání ekvivalentních komponentů k požadavkům z LAH. Unifikace a volba již používaných materiálů je důležitá zejména z důvodu cenové politiky, kdy s růstem

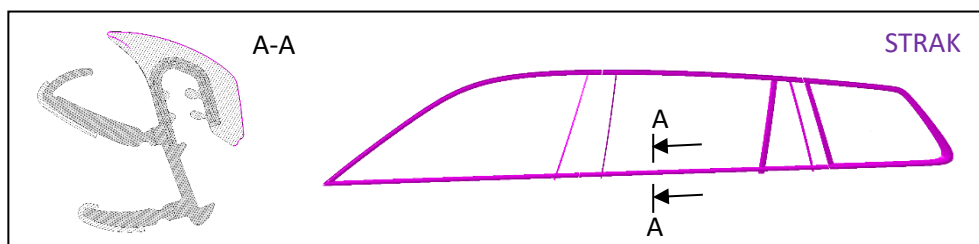
odebíraného množství od dodavatelů významně klesá cena za litr, případně za kilogram nakupovaného materiálu či polotovaru.

Kalkulace vývojových nákladů musí být zpracovávány pracovníky, kteří mají zkušenosti z předchozích projektů a dokážou dostatečně přesně odhadnout množství CAD hodin potřebné na zvládnutí projektu, časové nároky na vedení vývoje projektu (komunikace se zákazníkem, s výrobním závodem, koordinace CAD, CAE a vývojových zkoušek). Hodinové taxy se výrazně liší podle regionu, kde bude konstrukce probíhat (např. SRN cca dvojnásobek ČR) a zároveň podle toho zda je činnost plánována interními zaměstnanci, či externí firmou. Vývojové náklady obvykle nejsou přímo hrazeny zákazníkem. Bývají rozpuštěny do jednicové ceny produktu. Není tedy žádoucí kalkulovat konstrukci s příliš velkými rezervami, protože prodejce pak ztrácí konkurenceschopnost z důvodu vysoké jednicové ceny dílu. Na druhou stranu podhodnocení nákladů na vývoj může vést k problémům v případě nečekaných komplikací, či většího množství požadovaných změn ze strany zákazníka.

2.5.2. Prototypová fáze

Ve chvíli kdy prodejce projekt získá, bývá ve firmě sestaven projekční tým. Jeho struktura a pravidla se u různých firem liší, nicméně vždy existuje projektový manažer, vedoucí výroby, vedoucí vývoje, zástupci technologie, kvality a materiálový specialista. Tento projekční tým má v projektu rozhodovací pravomoci jako celek. Ke klíčovým otázkám jsou zapotřebí stanoviska všech členů týmu. Vedoucí vývoje zpravidla absolvuje úvodní jednání ve vývojovém oddělení zákazníka, kde se představí konkrétní termínový plán konstrukce a výroby pro fázi prototypů i pro sérii. Znovu se detailně diskutuje obsah LAH, DPI a vývojové náklady, aby nemohlo v budoucnu dojít k pochybením způsobeným nejasným zadáním.

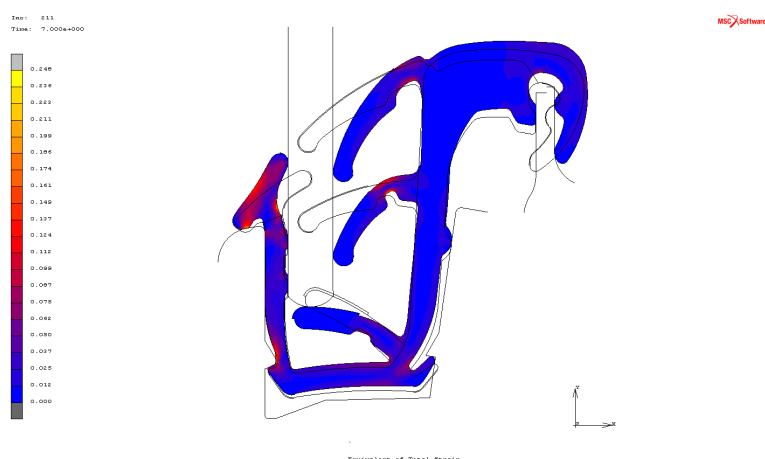
Vlastní konstrukce začíná přípravou definičních řezů. Dodavatel zpravidla dostane k dispozici okótovaný definiční řez okolních dílů (plechů karoserie a dveří, plastových krytek, apod.) V těchto datech je vyznačen prostor kam se těsnicí profil musí vejít a předpětí, jaké těsnicí prvky musí mít k těsněným plochám. Jedná-li se o pohledové profily (např. střešní profil vedení skla) je pohledová plocha definována tzv. STRAKem (viz obr. 2.28).



Obr. 2.28: Definice povrchu vnějšího stíracího těsnění STRAKovou plochou [1]

STRAK tvoří vnější obálku vozu a je to de facto základ pro konstrukci veškerých exteriérových dílů. Jsou to rovněž první data, která se v rámci projektu tzv. zmrazují, je tedy nezbytné hned v začátcích projektu případné nedostatky STRAKu včas připomínkovat. To opět vyžaduje jistou zkušenost, protože si konstruktér musí pod STRAKem definovaným prostorem umět představit vlastní konstrukci profilů a formových dílů. Každá automobilka má svoje nařízení ohledně maximální odchylky od STRAKu, ale zpravidla to není více než 0,1mm v odůvodněných případech.

Vlastní schválení řezů je podmíněno dodáním výsledků FEM simulací (obr. 2.29). Analyzují se dříve zmíněné reakce jazyků, nárazecí a zádržné síly. Kromě nominálních poloh na karoserii se kontrolují polohy a reakce od těsnících prvků i v maximálních tolerancích pozice dílu na voze. Předepsané cílové hodnoty pro jednotlivé profily schvaluje zákazník v době ladění definičních řezů. Před odevzdáním profilů k uvolnění probíhá ještě interní komunikace s konstruktéry extruzního nářadí, technology extruze a konfekce a kvalitou, tak aby bylo podchyceno maximum možných chyb, před realizací nástrojů.



Obr. 2.29: Ukázka 2D simulace zjetí skla do profilu B-sloupku [1]

Na základě uvolnění profilů zákazníkem připraví vývoj výrobní dokumentaci pro konstruktéry hubic a začíná pracovat na 3D datech. Průběžně se kontrolují a připomínkují data okolních dílů.

Veliká pozornost se věnuje sekání profilů. Zbytečně komplexní „seky“ velice komplikují a tím prodražují výrobu. Hledá se maximální jednoduchost se zachováním požadavků zákazníka. V této fázi se design často konzultuje s technology a je-li nominován dodavatel sekacích strojů, posílají se data pro hodnocení vyrobitelnosti. Konstruktér musí brát v potaz i životnost a údržbu nožů a matric. Vyvarovat se komplikovaným tvarům, zbytečným krokům apod.

Konstrukce formových dílů musí být prováděna s ohledem na všechna pravidla pro navrhování výrobků z plastů. Jedná se o poměrně složité modelování, protože většinu geometrie tvoří obecné plochy a většina formových dílů má 3 a více směrů odformování. S výhodou se opět zapojují prostřednictvím konzultací a porad technologové a formaři. Před odevzdáním dat ke schválení a konstrukci nářadí jsou jednotlivé formové díly opatřeny záměrnými kříži (obr. 2.30) a vyznačením ploch, které budou opatřeny dezénem.



Obr. 2.30: Koncovka vnitřního stíracího těsnění se záměrným křížem

Měřicí koncept se navrhuje s ohledem na dostupná zařízení. Statická a dynamická těsnění se měří na tzv. „optických lehrách“. Jsou to stoly se speciálními upínacími přípravky, kde se díly zakládají a měří pomocí optických zařízení. Měřicí kříže, které kamery na měřáku snímají, jsou součástí formového dílu. Požadované přesnosti se pohybují kolem $\pm 1,5\text{mm}$ na 1000mm délky dílu.

Ve chvíli, kdy jsou 3D data kompletní a schválená, se připravuje výkresová dokumentace. Vzhledem k tomu, že příprava prototypů je ze značné části ruční práce, je nutné veškeré rozměry nasekaných profilů a kompletních dílů přehledně okótovat.

Sekání prototypů obvykle probíhá u dodavatele prototypových sekacích přípravků, stejně tak vstřikování formových dílů se provádí mimo výrobní závod. Velmi často se výroba nářadí pro prototypovou fázi zadává u téhož dodavatele, od kterého se později objedná sériový nástroj, aby i on získal z prototypů zkušenosti a vyvaroval se chyb v sériovém nářadí.

Zkoušení prototypových dílů probíhá průběžně od extruze prvních profilů. Je dopředu zřejmé, že není možné stihnout všechny zkoušky definované v LAH před zmrazením sériových dat. Proto se se zákazníkem vytipují nejkritičtější testy, které mají největší vypovídací hodnotu o funkčnosti navrženého systému. V dnešní době se z finančních důvodů staví pouze jedna stavební řada prototypů. Nákladová úspora je ovšem značně diskutabilní, protože řada konstrukčních problémů se přirozeně projeví až na sériových vozech, které už mohou být kompletně dozkoušeny podle všech požadavků. Jakákoliv změna v sériové produkci je extrémně nákladná. V celé řadě případů dochází k výrobě kompletních nových nástrojů kvůli změnám, které by za jiných okolností znamenaly úpravy stávajícího nářadí.

2.5.3. DFMEA

Z výše uvedených informací vyplývá potřeba kontrolních mechanismů, které napomohou eliminovat potenciální závady předem. Nejběžnější jsou systémy FMEA (angl. failure modes and effects analysis). Ve fázi vývoje se vystavuje D-FMEA (D=design=konstrukce). V principu se jedná o jednání, jehož se zúčastňují kromě vývoje ještě zástupci ostatních oddělení firmy a zpravidla zástupce zákazníka. S výhodou se na toto setkání zve nestranný moderátor, který prodiskutované informace zaznamenává do speciálního formuláře (viz obr. 2.31).

Vždy se vybere součást, která se rozpadne na konkrétní designové prvky. K těmto prvkům se přiřadí požadavky na funkci, vzhled a možné závady. Následně se hodnotí závažnost (S), výskyt (O) a možnost odhalení (D). Pro tyto 3 faktory podle normy specifikované stupnice jsou přiřazeny konkrétní hodnoty. Nakonec se tato čísla mezi sebou násobí (výsledek RPN). Tím stanoví hodnotu, od které bude analyzovaná závada hodnocena jako kritická. Takto vybraným závadám musí být přiřazen návrh opatření a následné revize dokumentu D-FMEA spočívají v aktualizaci a zaznamenávání účinnosti navržených opatření. P-FMEA je obdobou konstrukční D-FMEA s tím rozdílem, že se zaměřuje na procesy a zpravidla se jí nezúčastňuje vývoj. Podobných nástrojů je v automotive celá řada.

[illegible]

Obr. 2.31: Hlavička formuláře DFMEA [1]

2.5.4. Sériová konstrukce

Sériová konstrukce se od prototypové výrazně neliší. Jsou kladeny vyšší nároky na přesnost a vyrobiteľnosť. V prototypové fázi někdy z časových důvodů dochází k různým kompromisům v oblasti odchylek od STRAKu či výsledků z FEM. Sériový design musí být v teorii co nejdokonalější. Vyžaduje se rovněž větší množství výkresové dokumentace. Připravují se detailní výkresy profilů. Ty obsahují veškeré tolerance tvaru profilu, polohy těsnících prvků atd. Dále se připravují výkresy dílů (ev. sestav, jsou-li díly tvořeny z více separátních součástí). Rovněž se dodávají výkresy všech plastových klipů, matic a jiných komponent. Vývoj dodavatele rovněž zodpovídá za montážní koncept. Vytvářejí se montážní návody.



Doprovázení sériové výroby oddělením vývoje je pro různé firmy specifické. Minimální doba, kdy se vývoj podílí na projektových problémech, jsou tři měsíce po SOP. Většinou to, ale nebývá méně než šest měsíců. Reálně však úloha vývoje na projektu nekončí až do EOP. Vedoucí projektu je často zván k reklamacím i několik let po zahájení sériové produkce.

3. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

3.1. Cíle diplomové práce

Cílem experimentální části této diplomové práce bylo vyrobit prototyp 2K dílu těsnění spáry A-sloupku s vybavením dostupným ve zkušební dílně a laboratoři oddělení vývoje firmy Henniges. Následně ověřit funkčnost prototypu s ohledem na standardní požadavky na těsnění v automotive. V závěru obecně popsat využitelnost vzorků 2K těsnění, získaných kombinací metody 3D tisk a vakuového lití do silikonových forem.

Zdrojem pro 3D CAD data dílu byl sériově vyráběný produkt, jehož obraz byl získán metodou reverzního inženýrství (díl byl naskenován a získané plochy následně v CAD softwaru rekonstruovány). Výsledný model byl rozdělen podle originálu na dva komponenty s vhodně zvolenou geometrií spojení tvrdé, nosné a měkké, funkční části. Tento datový soubor byl prvním dílčím výsledkem.

Na základě získaných dat byla za pomoci technologií Rapid prototyping vyrobena silikonová forma pro vakuové lití. Úspěšná výroba potřebného množství vzorků pro funkční testy byla druhým, dílčím výsledkem.

Získané vzorky byly podrobeny analýze tvarové přesnosti. Byly porovnány základní funkční parametry (reakční síla na kompresní zatížení a trvalá deformace), které musí díly plnit, se vzorky ze sériové produkce. Vyhodnocení těchto zkoušek bylo posledním dílčím výsledkem pro závěrečnou zprávu.

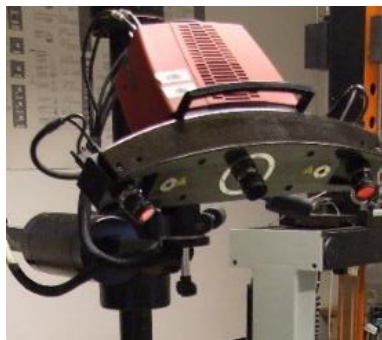
3.2. Reverzní inženýrství

Originální díly byly získány z čínského závodu firmy Henniges v městě Tieling, kde probíhá sériová produkce těsnění na model BMW F52 pro čínský trh. Technologie výroby 2K dílu těsnění spáry byla popsána v kapitole 2.3.4.1

3D skenování dílu probíhalo v laboratoři katedry výrobních systémů a automatizace TUL. Pro nasnímání dílu bylo použit bezdotykový, optický 3D skener ATOS II 400 (viz obr. 3.1)

Tab. 1: Skener Atos II 400 – základní, technické údaje [6]

Skener ATOS II 400	
princip	projekční moiré topografie
počet digitálních kamer	2
počet sejmutých bodů na 1 záběr	$1,4 \cdot 10^6$
výstup	STL
hustota bodů	28/mm ²



Obr.3.1: Skener Atos II 400

S ohledem na rozměry otočného stolu skeneru bylo nutné redukovat velikost originálního dílu. Pro účely ověření prototypové technologie vakuového lití nebylo nutné reprodukovat celý díl, jehož nejdelší rozměr je 630mm. Nasnímání celého originálu by bylo nicméně v případě nutnosti proveditelné po menších úsecích. Bylo rozhodnuto o realizaci 160mm výseku dílu v cca horní třetině (viz obr. 3.2). Těsnící jazyk tvořený elastomerním komponentem má po celé délce konstantní průřez s konstantním předpětím. Tudíž lze jeho funkce ověřit i na kratším vzorku.



Obr. 3.2: Výsek dílu

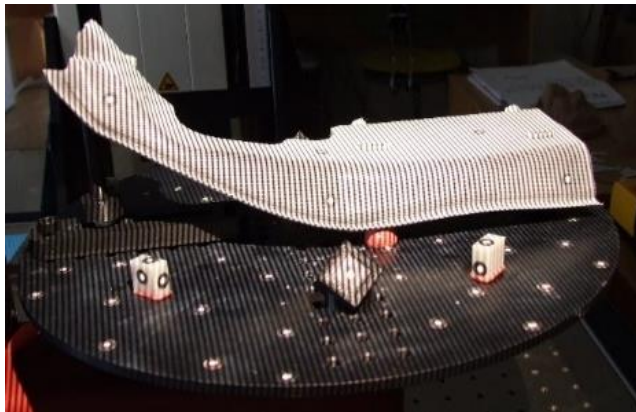
V prvním kroku bylo nutné uzpůsobit upínací stůl tak, aby bylo možno originál přesně ustavit z rubové i lícové strany (viz obr. 3.3). K tomu účelu byly použity kovové podpěry upevněné šrouby do otočné desky a modelovací hmota. Kvalita ustavení má přímý vliv na jakost výsledného snímku. Je třeba připravit ustavení pro dvojí založení z důvodu kompletního nasnímání obou stran dílu.



Obr. 3.3: Ustavení dílu na otočný stůl

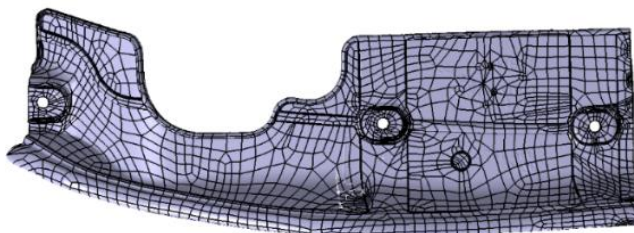
Následně byly na díl nalepeny záměrné body sloužící ke spojení rubové a lícové strany při zpracování naskenovaných ploch v datech. Takto připravený díl byl odvětrávaném boxu po celé ploše nastříkán reflexní vrstvou.

Po očištění záměrných bodů byl díl ustaven na otočný stůl a z obou stran oskenován (viz obr. 3.4). Získaný „mrak bodů“ v prostoru byl exportován do formátu STL a došlo ke spojení rubové a lícové strany. Výsledný soubor byl převeden do formátu STP (viz obr. 3.5).

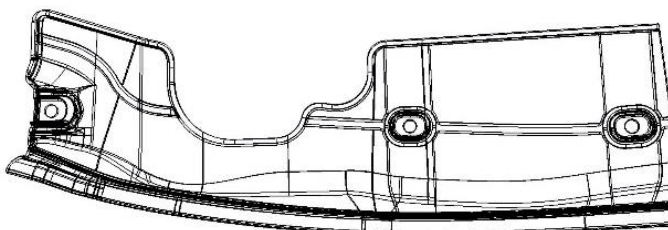


Obr. 3.4: 3D skenování dílu

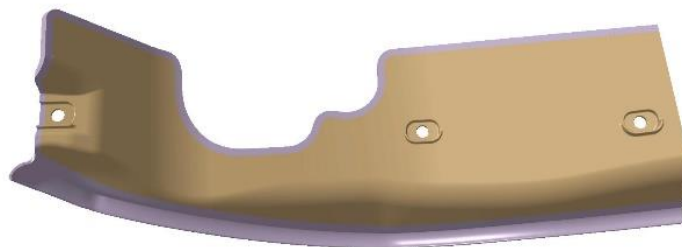
Získaný model byl v programu Catia V5 následně rekonstruován. V prvním kroku byl vytvořen drátový model za pomoci „spline“ křivek (viz obr. 3.6), tažených po povrchu exportovaných ploch. Získaná konstrukce byla proložena tangentně napojenými plochami tak, aby rubová a lícová strana měly konstantní odstup. Kompletní obálka byla v datech vyplněna do objemového tělesa (viz obr. 3.7). Posléze byl model rozdělen na elastomerní a polypropylenovou část (viz obr. 3.8). Spojení obou komponent bylo navrženo s ohledem na optimální průřez pro tečení PUR při odlévání.



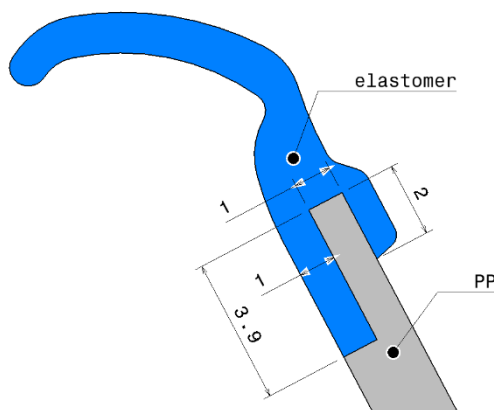
Obr. 3.5: Původní datová obálka exportovaná z STL



Obr. 3.6: Drátová geometrie



Obr. 3.7: 3D Výsledné objemové těleso



Obr. 3.8: 3D Detail návrhu spojení PP a elastomerní části

3.3. Výroba modelu pro dutinu formy

Model pro vytváření dutiny formy byl vyroben na 3D tiskárně Connex3 Object260 (viz obr. 3.9) z materiálu VeroWhitePlus RGD835 (viz tab. 3). Rekonstruovaný model vcelku (bez rozdělení na měkkou a tvrdou část) byl opět převeden do STL. Z důvodu tvarové členitosti tiskárna vytlačuje kromě vlastního materiálu ještě podpurný, který se po tisku umývá tlakovou vodou (viz obr. 3.10).

Tab. 2: 3D tiskárna Connex3 Object260 – technické údaje [16]

3D tiskárna Object260 Connex3	
stavební prostor	255 x 252 x 200mm
tloušťka nanášené vrstvy	0,016mm
tiskové rozlišení	X: 600dpi; Y:600dpi; Z: 1600dpi
rozměrová přesnost	20-85μm
vstupní formát dat	STL
modelové materiály	pevné i elastomery
materiál podpory	netoxický gelový fotopolymer
možnost výroby více-komponentních dílů	



Obr. 3.9: 3D tiskárna Connex3 Object260 [16]

Tab. 3: Materiálové vlastnosti VeroWhitePlus RGD835 [20]

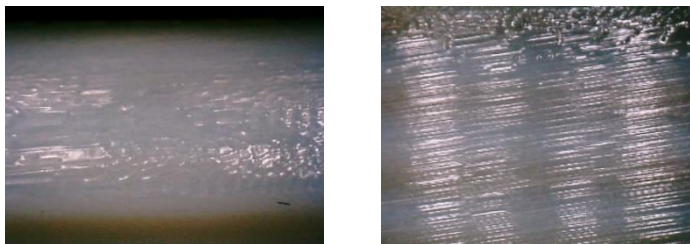
VeroWhitePlus RGD835	
Mez pevnosti σ_m	45-65 MPa
Prodloužení při přetržení	10-30 %
Modul pružnosti v tahu E_t	2000-3000 MPa
Modul pružnosti v ohybu E_f	2000-3000 MPa



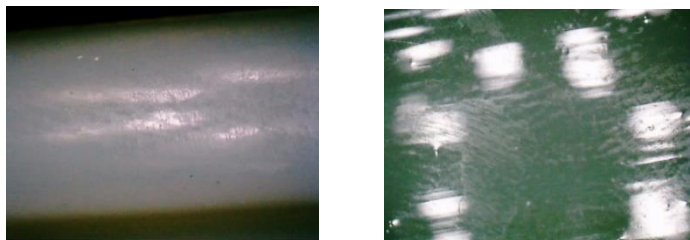
Obr. 3.10: Čištění vytištěného modelu tlakovou vodou od podpůrného materiálu

Vysušený model vykazoval poměrně značnou drsnost povrchu způsobenou prokreslením jednotlivých vrstev vzniklých procesem 3D tisku (viz obr. 3.12). Tato povrchová textura byla analyzována pod digitálním mikroskopem Levenhuk DTX 500 LCD (možné zvětšení 20-500x). Pro tyto účely vyrábí firma Smooth on produkt XTC-3D, kdy se jedná se o transparentní dvou-složkový nátěr, který vyplní nerovnosti povrchu 3D tisku, které se pak neprojeví na povrchu silikonové formy. Smíchání obou složek bylo provedeno na laboratorní váze Acculab VIC-711 (maximální hmotnost váženého vzorku 710g) podle poměru 100/42 udaného výrobcem na obalu přípravku. Nátěr se prováděl štětcem. S ohledem na co nejmenší ovlivnění tloušťky modelu byla aplikována pouze jedna vrstva vyrovnávací hmoty. Vytvrzení nátěrové hmoty podle výrobce trvá 2hod při teplotě 23°C, nebo 15min při ohřevu v peci na teplotě 60°C. Původní a výsledný povrch je zobrazen na obr. 3.12 a 3.13.

Obr. 3.11: Digitální mikroskop
Levenhuk DTX 500 LCD [17]



Obr. 3.12: Povrch modelu před nátěrem



Obr. 3.13: Povrch modelu po nátěru

3.4. Výroba silikonové formy

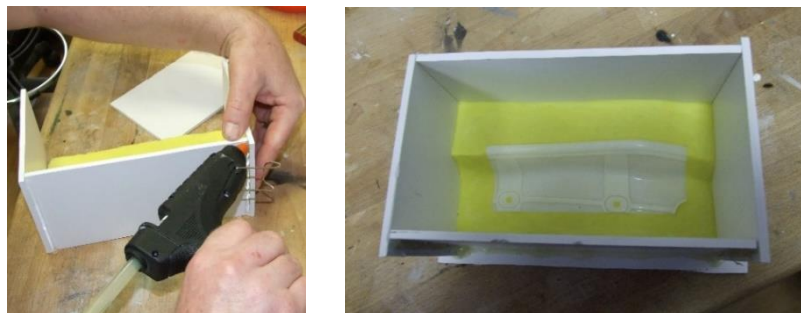
Každá polovina silikonové formy byla vyráběna samostatně. Existují sice postupy, kdy se model kompletně zalije do silikonu v rámu a rozdělení proběhne následně nožem, ale problém je, že ruční rozříznutí formy je pak velice nepřesné a v dělicí rovině vznikne řada nerovností, které při lití PUR způsobují přetoky.

Pro výrobu formy byl tedy použit delší, pracnější, ale přesnější postup, kdy se s použitím rámu z PE desky a modelovací hmoty vytvoří obě poloviny formy zvlášť.

Na připravenou PE desku byl položen model, který byl v dalším kroku obložený modelovací hmotou tak, aby zůstala obnažená pouze jeho lícová strana (obr. 3.14). Z PE desky byly vyřezány boky, které byly slepeny do rámu tavnou pistolí (obr. 3.15). Dělicí rovina tvořená částečně modelem a částečně modelovací hmotou byla co nejlépe vyhlazena a opatřena středícími důlky. Posléze byla natřena separátorem Axson Demoulant 841 (3.16).



Obr. 3.14: Vytvoření dělicí roviny modelovací hmotou



Obr. 3.15: Sestavení a slepení rámu



Obr. 3.16: Vytvoření zámků pro slícování obou polovin formy, natření dělicí roviny separátorem

Materiál formy AXSON ESSIL 291/292 (Tab. 4) je dvousložková silikonová hmota, která se míchá v hmotnostním poměru 100A/10B. Složka A je látka na bázi polydimetylsiloxanu. Složka B jako katalyzátor je tvořena polymetylvynylsiloxanem. Lící hmota byla připravena na laboratorních vahách ADAM LBK12a (maximální hmotnost váženého vzorku 6kg). Potřebný objem byl vypočítán z rozměrů rámu a zamýšlené výšky poloviny formy.

Tab. 4: Materiálové vlastnosti Essil 291/292

AXSON ESSIL 291/292	
Konečná tvrdost	38 ShA
Prodloužení při přetržení	350%
Mez pevnosti σ_m	5 MPa
Doba pro odformování při 25°C	12hod
Lineární smrštění po vytvrzení při 23°C	>0,1%

Stanovená šířka rámu byla 110mm, délka 210mm a tloušťka jedné poloviny formy 40mm. Potřebný objem materiálu pro jednu polovinu formy byl $0,924\text{dm}^3$ což při hustotě $1,07\text{kg/dm}^3$ činí 0,99kg lící směsi. S ohledem na ztráty v lící nádobě byl namíchán 1kg složky A s 0,1kg složky B (viz obr. 3.17).



Obr. 3.17: Míchání silikonové, formovací směsi na laboratorních vahách ADAM

Před nalitím do rámu se zaformovaným modelem bylo třeba odstranit bubliny z formovací směsi vzniklé při mísení a míchání. K tomuto účelu byla využita tlaková nádoba z 50l KEG sudu s odděleným víkem a vývěva (obr. 3.18 a 3.19). Odříznuté víko bylo nahrazeno deskou z PMMA o tloušťce 20mm. Hrana nádoby po odříznutém dnu byla osazena těsněním a do boku nádoby byl vyvrtán otvor opatřený utěsněným ventilem pro napojení hadice na vývěvu.



Obr. 3.18: Vývěva PA 004 A

Tab. 5: Vývěva PA 004 A - technické údaje [21]

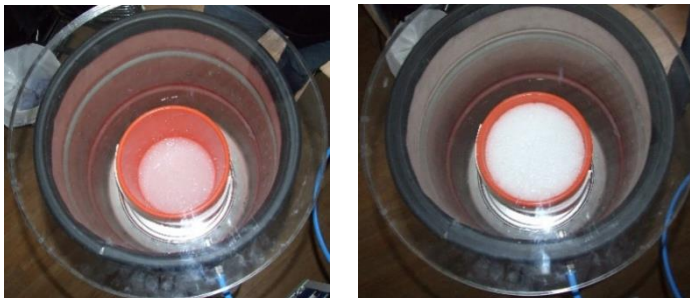
Vývěva PA 004 A	
princip	olejová rotační vývěva
čerpací rychlost	40m ³ /hod
dosažitelné vakuum	0,5mbar
příkon	1,1kW
otáčky	1450/min



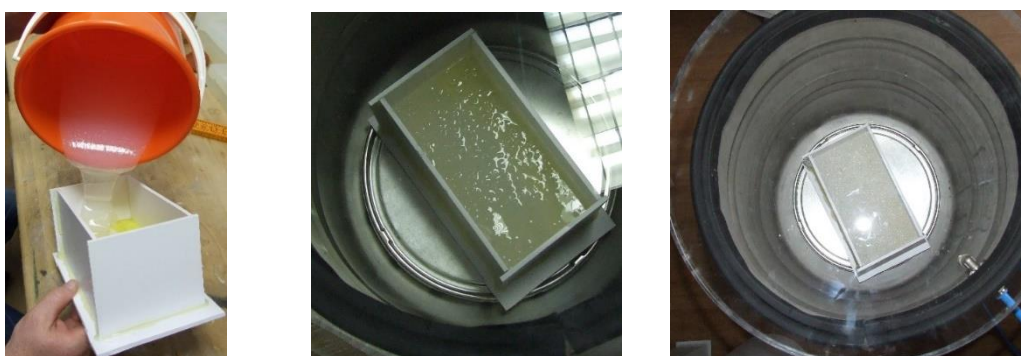
Obr. 3.19: Tlaková nádoba KEG 50l s víkem z PMMA

Vakuování před litím do formy probíhalo 2x 10minut (obr. 3.20). Následně byl materiál odlit do připraveného rámu, kde proběhlo další vakuování 2x 10minut (obr. 3.21).

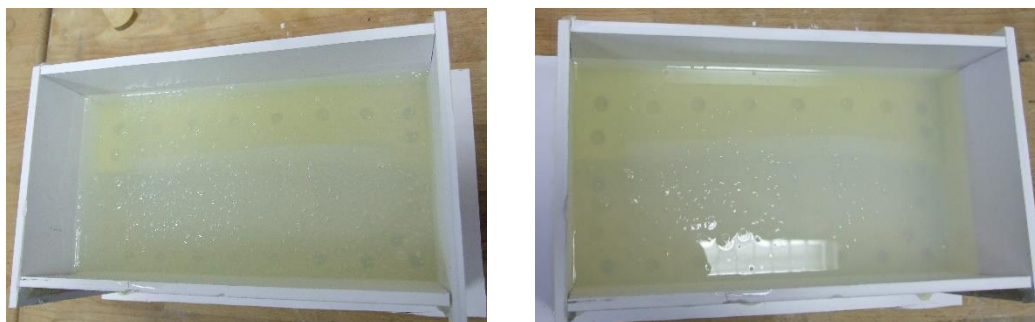
Posléze byl rám s odvakuovanou směsí odstaven na 16 hodin při běžném tlaku a pokojové teplotě (obr. 3.22).



Obr. 3.20: Vakuování směsi před odlitím



Obr. 3.21: Lití směsi, vakuování v rámu



Obr. 3.22: Vlevo nezatuhlá směs po vakuování, vpravo po 16-ti hodinách

Po zatuhnutí směsi bylo odděleno dno rámu a vyjmuta modelovací hmota (obr. 3.23). Plocha dělicí roviny byla důkladně očištěna izopropanolem C_3H_8O . Připravená polovina formy i s částečně zalitým modelem byla v rámu posunuta tak, aby vznikl prostor pro odlití druhé poloviny formy. Dělicí rovina byla opatřena separátorem.

V dalším kroku se podle stejného systému připravila licí směs o stejném množství (obr. 3.24). Opět byla 2x vakuována před litím a 2x po odlití do rámu formy.



Obr. 3.23: Odstranění modelovací hmoty a vyčištění dělicí



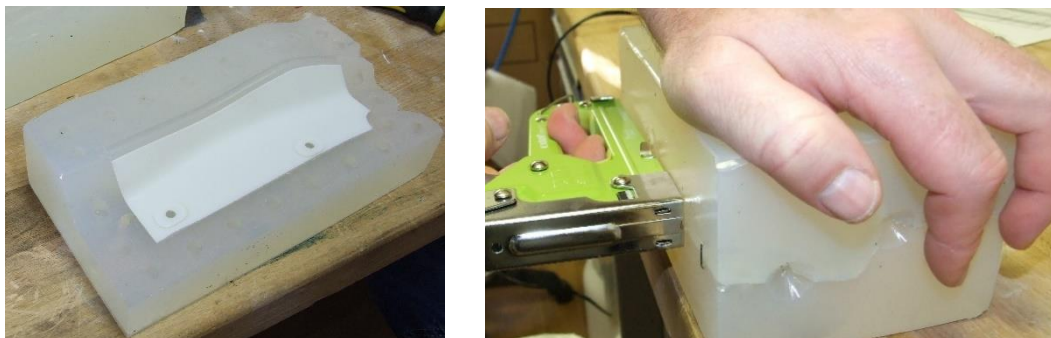
Obr. 3.24: Posunutí v rámu, odlévání druhé poloviny formy

Po 16hodinách byl definitivně odstraněn rám, začištěny přetoky a forma rozevřena. Speciálním vrtákem pro děrování těsnění pro klipy byl vyříznut vtok o $\varnothing 5\text{mm}$ (o 1mm méně než vnější průměr hadice, kterou byl později přiváděn PUR.) Následně byl skalpelem vyřezán rozváděcí kanál po spodní hraně dílu. Elastomerní část tvoří po délce dílu 2 separátní větve, z toho důvodu se jevílo jako vhodné plnění odspodu oběma najednou. Na druhém konci formy byly vytvořeny 2 kuželové otvory, kterými při odlévání bude odcházet vzduch a slouží zároveň jako nálitky.

3.5. Výroba vzorků těsnění spáry

Nejdříve byl na 3D tiskárně 3D Object 260 vyroben tvrdý komponenty z materiálu VeroWhitePlus RGD835 (první 4 vzorky) a ostatní pak z VeroBlackPlus RGD875. Ten byl vybrán z dostupného portfolia tak, aby se vlastnostmi co nejvíce blížil originálnímu polypropylenu. Vzhledem k tomu, že PP komponent slouží pouze jako nosič těsnícího jazyka a k uchycení ke dveřím vozu, bylo rozhodnuto, že není nutné vyrábět speciální silikonovou formu pro liti z odolnějšího materiálu, než nabízí 3D tiskárna.

Tisk probíhal z důvodu úspory podpůrného materiálu po 2 kusech najednou. Očištěné kusy se nechaly řádně vyschnout. Vysušený komponent byl vložen do formy, která byla po uzavření po obvodu dělicí roviny spojena nastřelovacími sponkami (obr. 3.25). Forma byla dále mechanicky zajištěna proti otevření způsobem, který bude v detailu rozebrán v dalším textu.



Obr. 3.25: Vložení tvrdého komponentu a sešití formy

Elastomerní část byla vyráběna z materiálu Axson UR3440 s garantovanou tvrdostí 63ShA. Od vzorku č. 4 byl používán Axson UR3450 s udávanou cílovou tvrdostí 68ShA. Míchání isokyanátu (složka A) a polyolu (složka B) probíhalo na laboratorních vahách Acculab vicon v hmotnostním poměru 100A/50B. PUR byl v průběhu mísení obarvený na černo barvivem Axson CP15 black. Max doba zpracování od smísení obou složek je 17min. Připravená licí směs byla opět 2x 2minuty vakuována v tlakové nádobě.

Tab. 6: Materiálové vlastnosti UR 3440 [13]

AXSON UR 3440	
Konečná tvrdost	63 ShA
Odolnost proti přetržení	24 kN/m
Mez pevnosti σ_m	3 MPa
Prodloužení při přetržení	1000%
Teplotní oblast použitelnosti	-40 / +80°C
Lineární smrštění při vytvrzení při 23°C	0,05%
Kompletní vytvrzení při 23°C	144 hod
Kompletní vytvrzení při 70°C	4 hod

Tab. 7: Materiálové vlastnosti UR 3450 [22]

AXSON UR 3450	
Konečná tvrdost	79 ShA
Odolnost proti přetržení	67kN/m
Mez pevnosti σ_m	12 MPa
Prodloužení při přetržení	620%
Teplotní oblast použitelnosti	-40 / +80°C
Lineární smrštění při vytvrzení při 23°C	0,36%
Kompletní vytvrzení při 23°C	96 hod
Kompletní vytvrzení při 80°C	4 hod

Před vlastním litím byla uzavřená forma vložena do tlakové nádoby. Licí trubice byla otvorem v boku tlakové nádoby vytažena ven a oblast vstupu byla dotěsněna tavnou pistolí. Tlaková nádoba byla zajištěna víkem a licí trubice byla ponořena do kelímku s licí směsí tak, aby nemohlo dojít k jejímu vynoření nad hladinu v průběhu lití. Následně byla zapnuta vývěva. Podtlak vyvozený vývěvou v tlakové nádobě následně dopravil licí směs přes licí trubici do dutiny formy. Proces lití byl ukončen v okamžiku zaplnění obou náliček v horní části formy (obr. 3.26).



Obr. 3.26: Vlastní proces lití PUR

Jako kritický faktor se hned při prvním lití ukázala těsnost formy. Původní zajištění sponkami sevřené formy pryžovými pásky bylo nedostatečné (obr. 3.27). Důsledkem byly výrazné přetoky do dělicí roviny a zřetelně větší průřez těsnícího jazyka. Proto byla forma od vzorku č. 2 zajištěna pomocí dvou ocelových desek, které byly k sobě staženy čtyřmi závitovými tyčemi a osmi křídlovými maticemi (obr. 3.28). U vzorku č. 2 došlo naopak k přílišnému sevření formy, které způsobilo odlití tenčího těsnícího jazyka. Od vzorku č. 3 se podařilo odladit rozteč desek prostřednictvím dotažení křídlových matic tak, aby uzavírací síla byla dostatečná a zároveň nedošlo ke zkreslení geometrie odlitku.



Obr. 3.27: Původní zajištění formy



Obr. 3.28: Optimalizované zajištění

Odlitek bylo možné vyjmout z formy po 24hodinách. Po začištění vtoku a přetoků skalpelem byly vzorky umístěny do pece na 4 hodiny při 70 °C. Po vytvrzení byly dále zpracovávány na analýzy tvaru a funkčních parametrů.

3.6. Analýza tvarové přesnosti odlévaných vzorků

S ohledem na funkci těsnících jazyků má největší význam jejich průřez. Z toho důvodu byla jako hodnotící metoda zvolen postup, kdy se v definovaném místě vzorek oddělí, zalije do odlévací PUR hmoty AXSON F23 (obr. 3.29). Plocha řezu po zatuhnutí hmoty se zabrousí na kotoučové brusce (obr 3.30). Vzorek je pak na standardním 2D skeneru nasnímán. Získaný snímek se vloží do CAD softwaru, kde se jeho kontura porovnává s originální CAD geometrií.

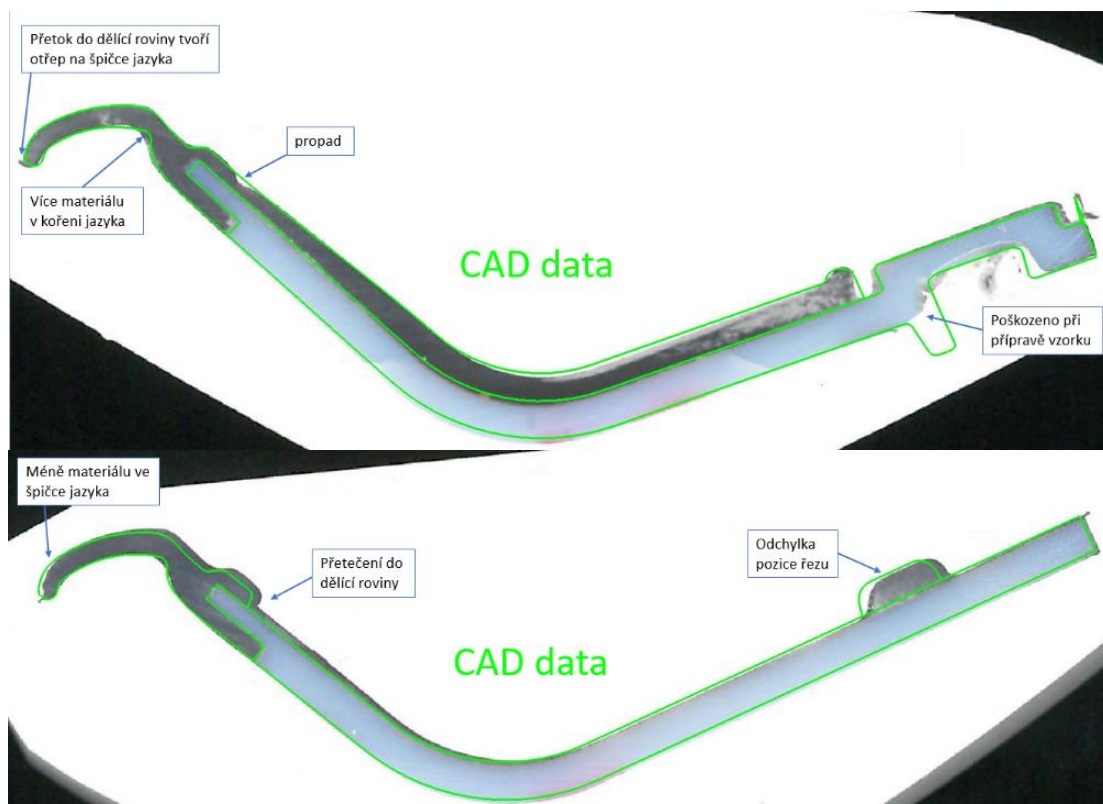
Vzhledem k tomu, že se jedná o destruktivní zkoušku, bylo rozhodnuto o analýze dvou speciálně vyrobených vzorků. Díly dříve použité například na testy reakčních sil těsnícího jazyka by mohly být negativně ovlivněny vnesenou trvalou deformací.



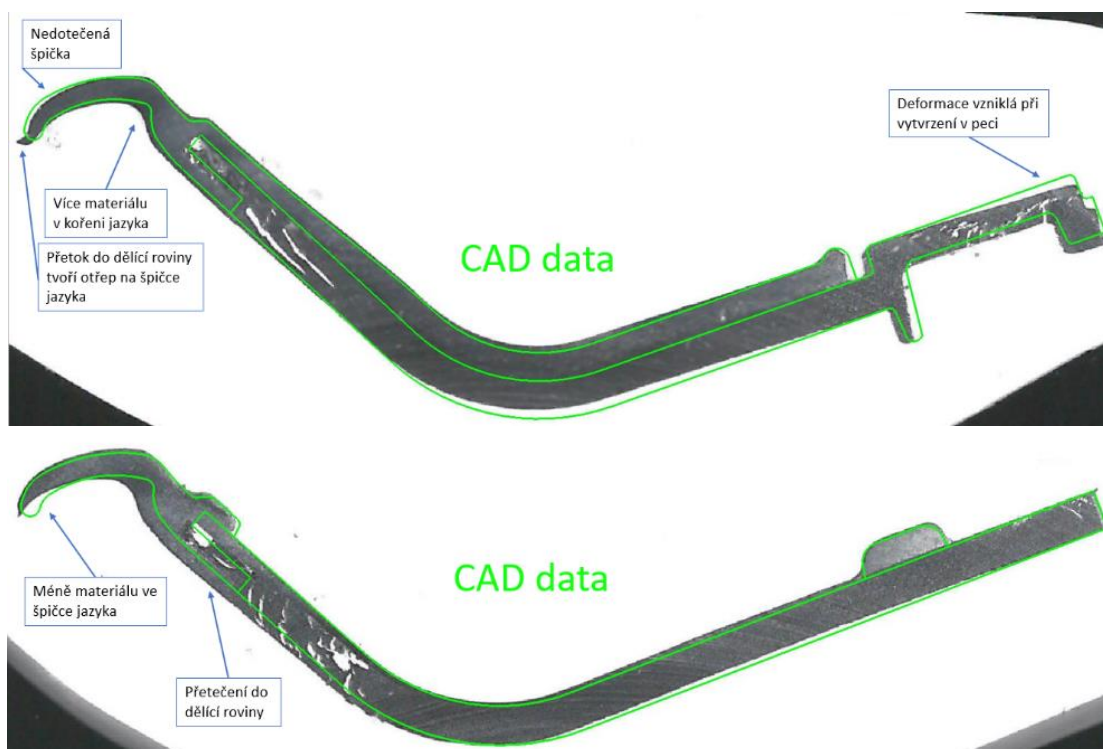
Obr. 3.29: Zalévání vzorků



Obr. 3.30: Broušení čela



Obr. 3.31: Kontrola tvaru - vzorek 4



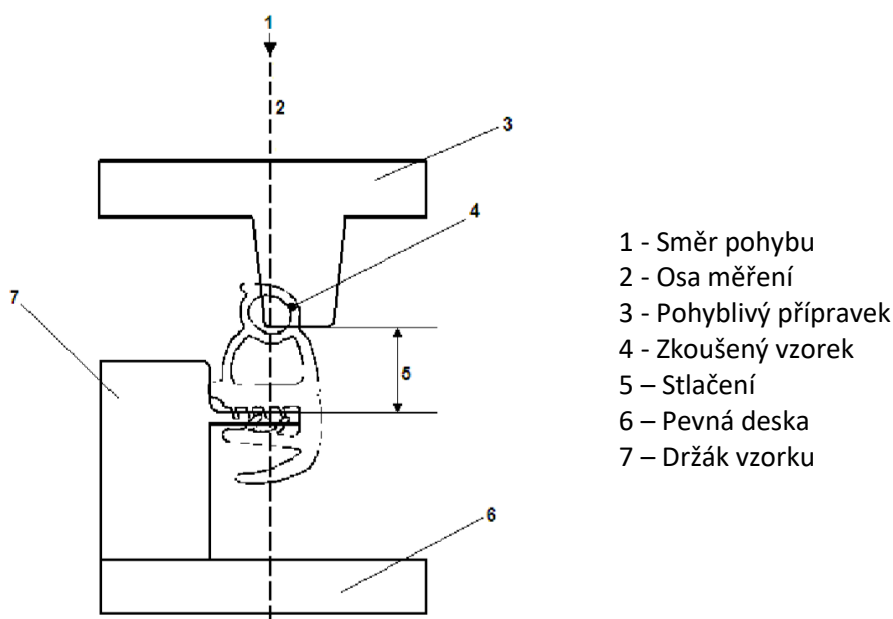
Obr. 3.32: Kontrola tvaru - vzorek 6

3.7. Měření reakčních sil na kompresní zatížení

Reakční síla, jako jeden ze základních funkčních parametrů těsnění, je specifikována v zákaznických normách. Pro účely diplomové práce jsem vyšel z normy platné pro koncern VW s označením PV3364. Předpisy jiných automobilek jsou v principu velmi podobné. Liší se požadavky na povrchovou úpravu zkušebních těles, či požadavky na obsah protokolu z testu.

3.7.1. Definice reakčních sil na kompresní zatížení

Podle PV3364 je kompresní zatížení definováno jako zatížení, které prostřednictvím zkušebního přípravku uchyceného v měřicím zařízení, působí na elastomerní těsnicí prvek na definované délce. [15]



Obr. 3.33: Schéma zkoušky tlakové tuhosti podle PV3364 [15]

3.7.2. Konfigurace zkoušky podle normy PV3364

Vzhledem k tomu, že zkoušený vzorek v našem případě není extrudovaný, nýbrž vstříkovaný díl musely být nezbytně některé podmínky testu upraveny. V první řadě, předpis stanovuje běžně reakční sílu na kompresní zatížení na délce profilu 200mm, v našem případě měly vzorky 160mm.

Všechny vzorky byly zkoušeny stejným zařízením, stejnými přípravky, za identických podmínek. Proto jsou naměřené hodnoty mezi sebou porovnatelné.

Zkušební přípravky byly z časových a finančních důvodů vyrobeny z materiálu ABS na 3D tiskárně. Z toho důvodu nebyl dodržen předpis na drsnost povrchu kontaktních ploch přípravku.

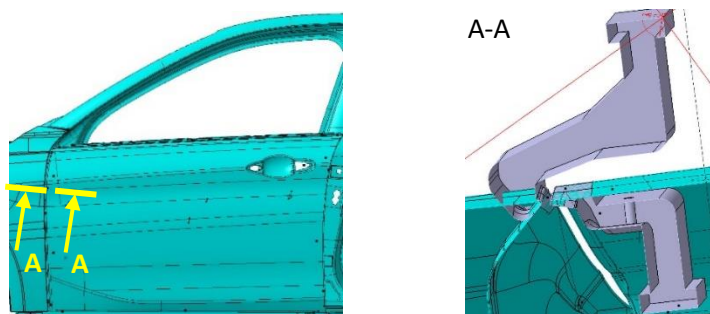
Dále norma předepisuje testovat za teploty $23 \pm 2^\circ\text{C}$ a rychlost pohybu zkušebního přípravky 30mm/min, což bylo dodrženo.

3.7.3. Konstrukce a výroba přípravků

Zkušební přípravky reprezentují části karoserie, na kterých je těsnění upevněno a ke kterým doléhá. V našem případě je díl klipy uchycen k předním dveřím a těsnící jazyk leží z vnitřní části na předním blatníku.

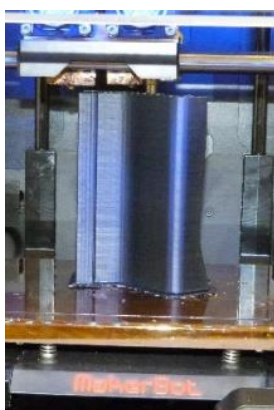
Postup konstrukce a výroby přípravků byl následující. Nejprve byla v datech definována oblast, kde se nachází výřez těsnění spáry, jehož duplikát vyrábíme a testujeme. Potřebné plochy byly z plechů extrahovány pro další konstrukci (obr. 3.34).

Zkušební přípravky jsou běžně v měřicím zařízení uchyceny do univerzálních adaptérů pomocí T drážek. Na základě známých rozměrů dostupného adaptéru byla navržena geometrie zbylé části přípravků.



Obr. 3.34: Získání vstupní geometrie pro konstrukci zkušebních přípravků

Získaná 3D data byla převedena do formátu STL a na 3D tiskárně MakerBot Replicator 2X byla vyrobena jedna sada přípravků z materiálu ABS (obr. 3.35). Uchycení těsnění spáry k části představující dveře, standardně řešené plastovými klipy, bylo realizováno dvěma šrouby s šestihrannou hlavou M5x30 s maticí.



Tab. 8: Parametry 3D tiskárny Maker Bot Replicator 2X [19]

3D tiskárna MakerBot Replicator2	
princip	vrstvení taveného plastu
stavební prostor	285 x 153 x 155mm
tloušťka nanášené vrstvy	0,1mm
rozměrová přesnost	X/Y: 11 μm ; Z: 2,5 μm
typ materiálu	ABS

Obr. 3.35: Výroba přípravku na 3D tiskárně Maker Bot Replicator 2X

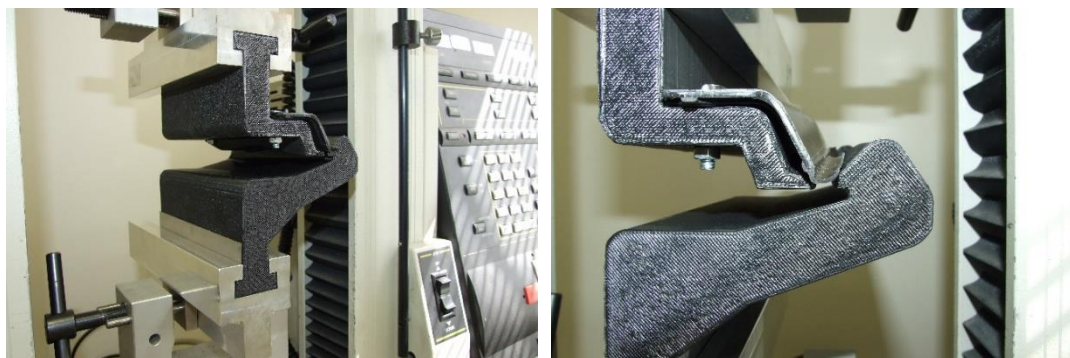
3.7.4. Měření reakčních sil na kompresní zatížení

Před zahájením zkoušek originálních dílů, bylo třeba připravit zkušební vzorky. Podle modelu, který sloužil při výrobě silikonové formy, byly ze třech originálních původních dílů vystřiženy vzorky odpovídajících rozměrů (obr. 3.36).



Obr. 3.36: Příprava zkušebních vzorků

Vzorky byly jeden po druhém upnuty do zkušebního přípravku a vloženy do zkušebního zařízení Instron 4411, osazeným snímačem síly Instron UK137 – 500N (obr. 3.37).



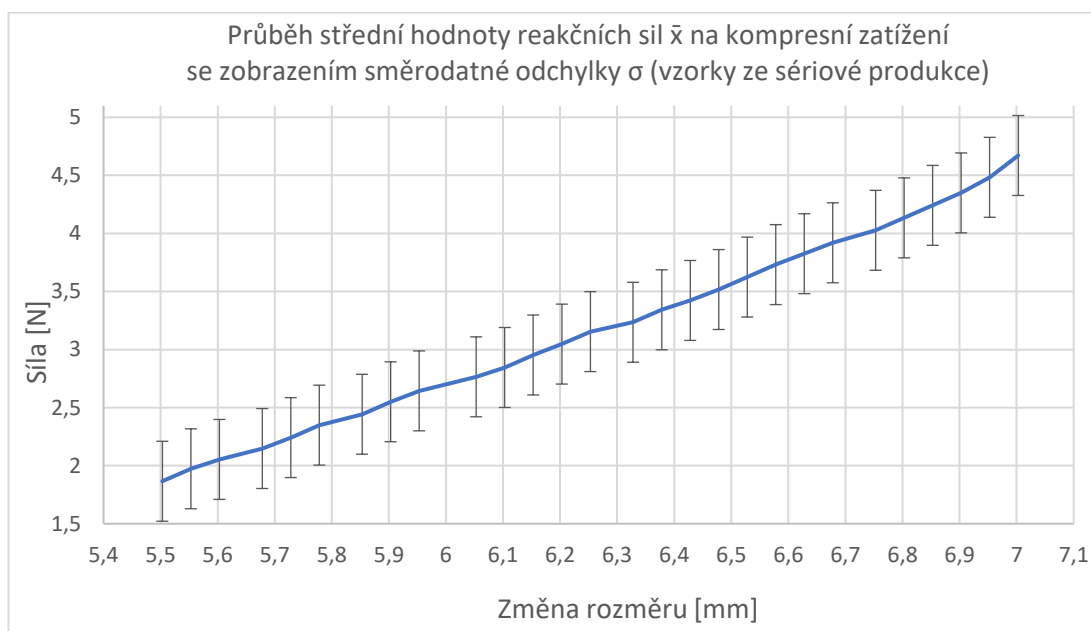
Obr. 3.37: Sestava přípravků v trhačce Instron

Před vlastním testováním byla nastavena konečná, vzájemná poloha přípravků. Od ní pak vzdálenost začátku testu tak, aby bylo možné vzorky pohodlně měnit. Rychlost pohybu stroje 30mm/min. Číselné výstupy z měření (dráha pohyblivé části v mm a naměřená síla v N) byly exportovány ve formátu CSV pro další grafické zpracování v programu MS Excel.

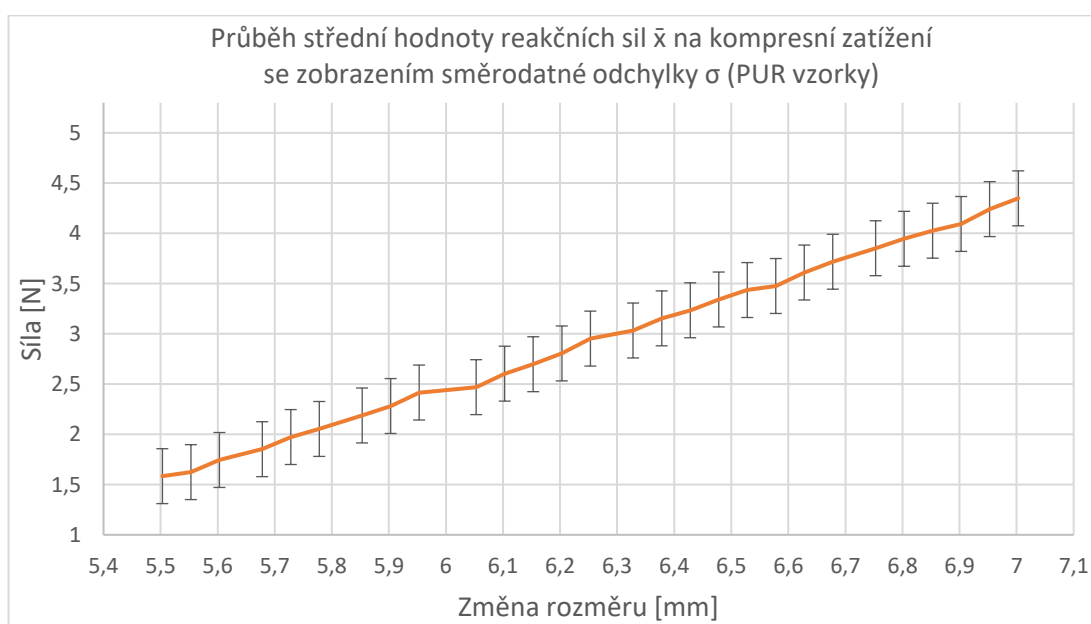
3.7.5. Výsledky měření reakčních sil na kompresní zatížení

Tab. 9: Přehled naměřených hodnot reakčních sil

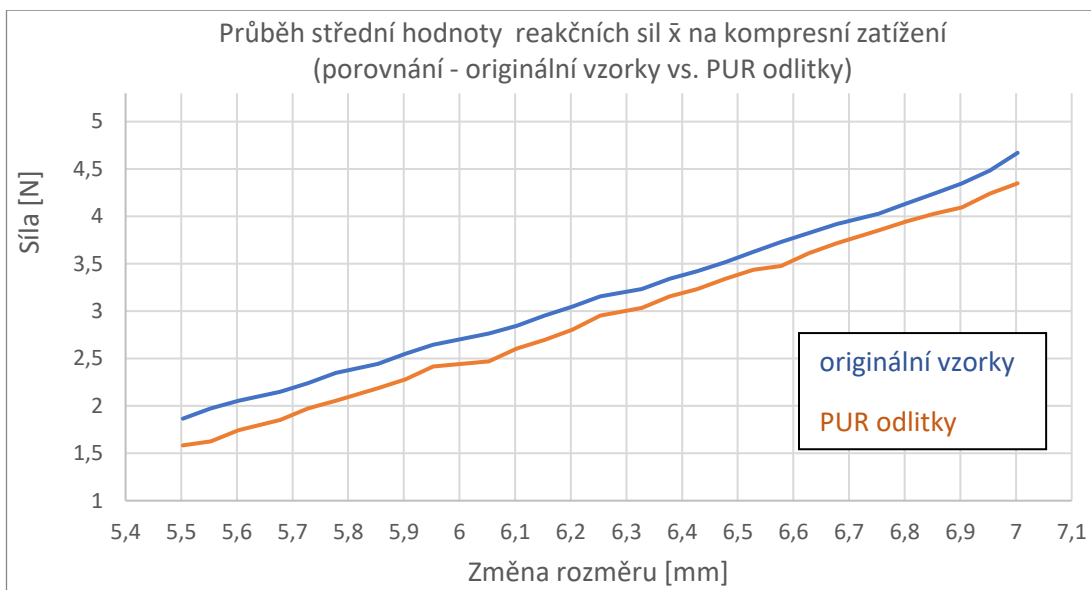
	Maximální hodnota reakce na kompresní zatížení [N]						
vzorek	1	2	3	4	5	\bar{x}	σ
originál	4,19	4,89	4,63	4,67	5,11	4,67	0,34
PUR odlitek	4,31	4,35	4,26	4,72	4,86	4,35	0,27



Graf 3.1: Grafický výstup měření reakčních sil – originální vzorky

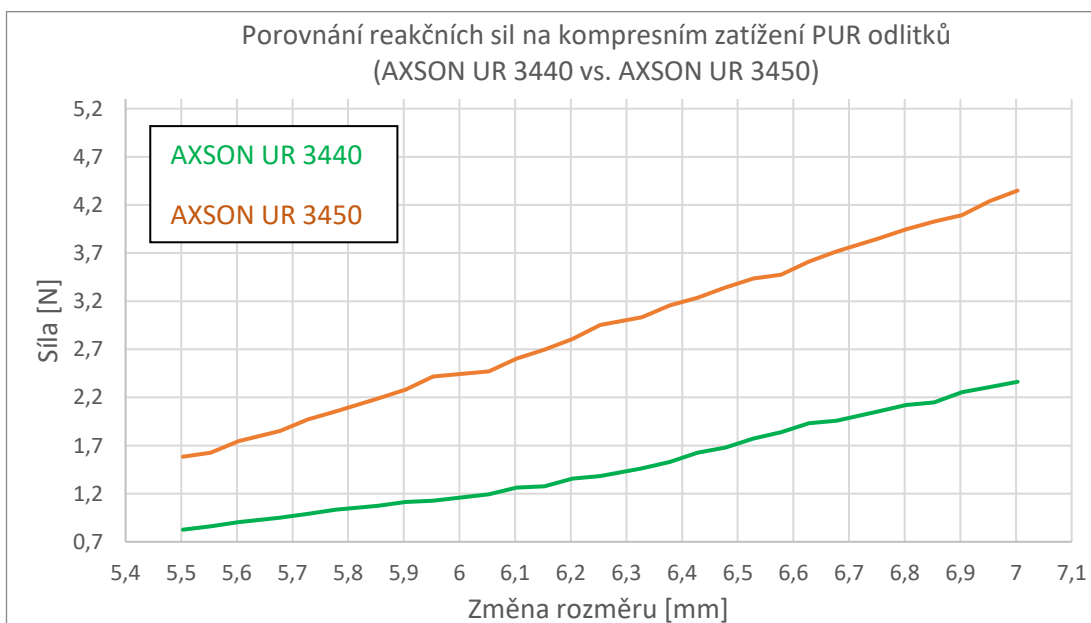


Graf 3.2: Grafický výstup měření reakčních sil – PUR vzorky



Graf 3.3: Grafický výstup měření reakčních sil – porovnání originální vs. PUR vzorky

Jak bylo uvedeno v kapitole 3.5, byly první 3 PUR odlitky vyrobeny z materiálu s nižší tvrdostí, než má elastomerní část sériového dílu. Tyto vzorky dosahovaly maximální reakční síly kolem 2,3N. Vliv tvrdosti PUR na reakci od jazyka je zobrazen v grafu 3.3.



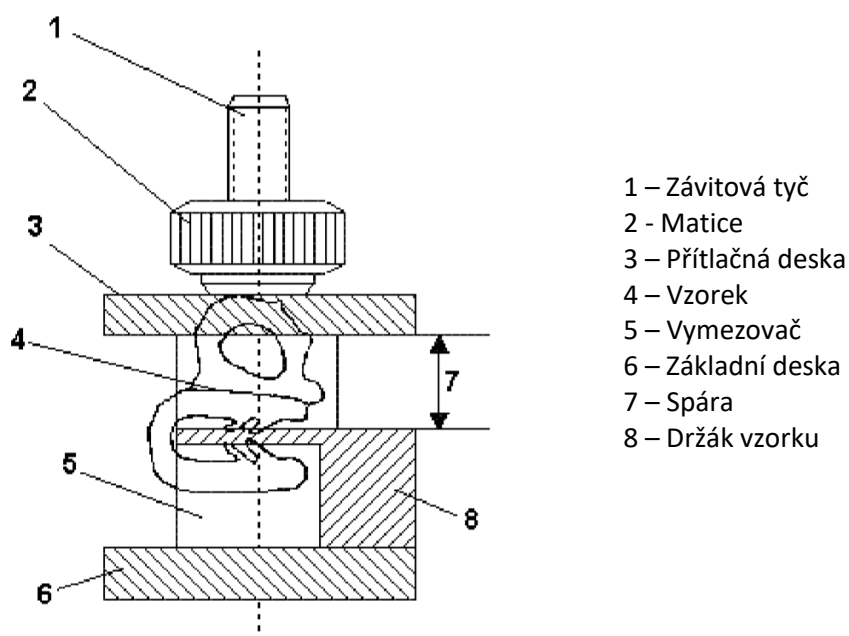
Graf 3.4: Grafický výstup měření reakčních sil – AXSON UR 3440 vs. AXSON UR3450

3.8. Měření trvalé deformace funkčního jazyka

Trvalá deformace je z dlouhodobého hlediska významnější faktor než reakční síla na kompresní zatížení, která se hodnotí pouze na nových dílech. Příliš velká ztráta přtlaku těsnících jazyků, může v průběhu životnosti omezit, nebo zcela eliminovat primární funkci dílu. Nejlepších výsledků v oblasti trvalých deformací dosahují profily z EPDM, pro TPE (TPV) těsnění je to naopak slabina. Pro účely diplomové práce jsem vyšel z VW normy PV3363.

3.8.1. Definice trvalé deformace

Norma PV3363 definuje trvalou deformaci jako procentuálně vyjádřenou polohu těsnícího prvku po odlehčení z dlouhodobého konstantního předpětí. [18]



Obr. 3.38: Schema přípravku pro vyvození dlouhodobého konstantního předpětí z normy PV3363 [18]

3.8.2. Konfigurace zkoušky podle normy PV3363

Norma stanovuje 2 režimy zátěže těsnícího prvku:

- A) 94hod/23°C (OK výsledek je trvalá deformace <30%)
- B) 94hod/70°C (OK výsledek je trvalá deformace <65%)

Měření polohy jazyka pod odlehčení se provádí po 5s a po 1hod, většinou bezkontaktním laserovým měřidlem.

Zkoušené prvky se proti nominálnímu předpětí deformují o 1mm více (na rozdíl od měření reakčních sil, kde jsou jazyky stlačovány přesně do nominální polohy.)

3.8.3. Realizovaná konfigurace zkoušky

Je známo, že směrodatnější je konfigurace A s expozicí stlačeného jazyka za zvýšené teploty. V našem případě, ale nebylo možné vyrobit zkušební přípravek na 3D tiskárně, protože ten by dlouhodobě teplotě 70°C bez významnější deformace neodolal. Proto byl použit ocelový, zástavbový přípravek, který slouží ve výrobě jako šablona pro ověření tvarové přesnosti vyráběných dílů. Drobnou úpravou byl získán přípravek, ve kterém bylo možno spolehlivě dlouhodobě stlačit těsnící jazyk na stejnou úroveň pro několik vzorků.

K dispozici byl ovšem pouze jeden přípravek pro upnutí jednoho vzorku. Z toho důvodu byla zkrácena expozice v peci z 94 na 48 hodin a stanoven počet testovaných vzorků na 2 originální a 2 prototypově vyrobené kusy.

Vyhodnocení testu bylo provedeno zalitím a naskenováním řezů (stejně jako v kapitole 3.6). V CAD softwaru bylo následně změřena nová poloha jazyka a podle vzorce z normy PV3363 vypočteny hodnoty trvalých deformací.

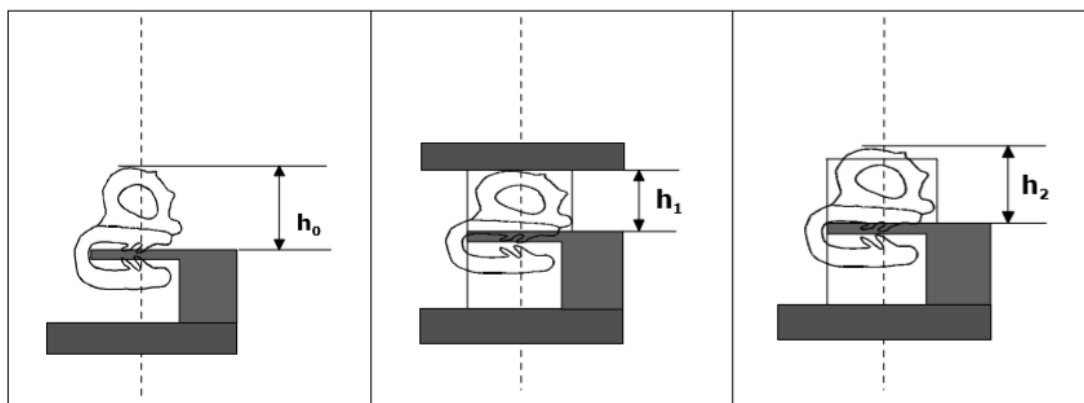
3.8.4. Vzorec pro výpočet trvalé deformace

$$TD = \frac{(h_0 - h_2)}{(h_0 - h_1)} \cdot 100 [\%] \quad (\text{Rovnice 1})$$

h_0 původní poloha těsnícího prvku [mm]

h_1 stačení těsnícího prvku v přípravku [mm]

h_2 konečná poloha těsnícího prvku po odlehčení [mm]



Obr. 3.39 Princip výpočtu trvalé deformace [18]

3.8.5. Vlastní měření

Do výše popsaného přípravku byly postupně přišroubovány a zavřeny zkoušené vzorky. Následně umístěné do laboratorní pece Memmert na 48 hodin při teplotě 70°C. Po

vyjmutí z pece a přípravku se nechaly cca 50minut vychladnout a následně došlo k nařezání na 2 díly a zalití do zalévací hmoty. Tím byla splněna podmínka normy na vyhodnocení polohy jazyka po 1hodině od odlehčení.

Hodnoty h_0 a h_1 pro výpočet trvalé deformace podle rovnice 1 byly odečteny z původních 3D dat. Hodnota h_2 byla získána z naskenovaných vzorků.



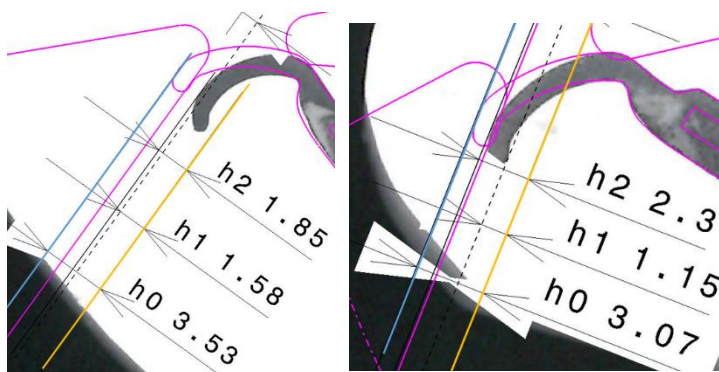
Obr. 3.40 Přípravek se zkoušeným vzorkem umístěný v peci

Míra stlačení vzorku
v přípravku pro měření TD

Původní předpětí jazyka

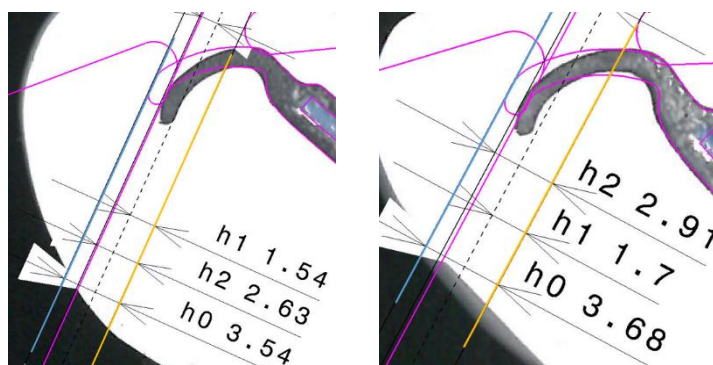
Koncová poloha jazyka po
testu

Základna



Obr. 3.41 Vstupní data pro výpočet TD - Originál vzorek 1

CAD data



Obr. 3.42 Vstupní data pro výpočet TD – PUR vzorek 3

3.8.6. Výpočet trvalé deformace

Vstupní hodnoty z naskenovaných vzorků byly použity pro výpočet trvalé deformace podle rovnice 1. Výsledky jsou zobrazeny v tabulce 10.

Tab. 10: Přehled vypočtených hodnot trvalé deformace

	<i>Označení vzorku</i>	<i>Pozice na díle</i>	<i>Trvalá deformace [%]</i>
Originál	Vzorek 1	Řez 1	86,154
		Řez 2	40,104
	Vzorek 2	Řez 1	24,6
		Řez 2	52,79
PUR odlitek	Vzorek 3	Řez 1	45,5
		Řez 2	38,9
	Vzorek 6	Řez 1	32,828
		Řez 2	9,64

4. DISKUZE VÝSLEDKŮ

4.1. Digitalizace originálního vzorku

Originální díl byl po celou dobu digitalizace k dispozici. Díky tomu bylo možné fyzicky změřit některé rozměry posuvkou, nebo pravítkem. Při pozdějším porovnání nařezaných vzorků PUR odlitků se zrekonstruovanými daty nebyly zjištěny výraznější odchylky. Zvýšenou pozornost vyžadovala rekonstrukce špičky jazyka, která vznikla spojením skenu rubové a lícové strany modelu. Program, který skenované plochy zpracovává, tuto hranici dopočítává a ne vždy vypočtená hrana odpovídá skutečnosti.

Nicméně metoda je poměrně časově náročná. Skenování s přípravou trvalo 2 hodiny. Následné zpracování dat a export do formátu stp další 2 hodiny. Vlastní konstrukce v CAD softwaru Catia V5 zabrala více než 30 hodin.

4.2. Výroba silikonové formy

3D tisk modelu byl úspěšný až na druhý pokus. Napoprvé se ukázalo, že empiricky vysledované smrštění pro použitý materiál a geometrii je příliš velké. Vytištěný model vyrobený z VeroWhitePlus RGD835 se prakticky nesmrštil, a proto bylo nutné výrobu opakovat.

Při výrobě formy bylo nutné dbát zvýšené opatrnosti zejména při míchání složek silikonové licí směsi. Nepřesný poměr by mohl vést nedostatečnému vytvrzení a znehodnocení poměrně nákladného materiálu. Rovněž velmi důležitou činností je pečlivé opatření dělicí roviny separátorem, které minimalizuje riziko poškození formy při prvním otevření. Později se ukázalo, že nanášení štětcem není zcela vhodné z důvodu prokreslení tahů štětce do formy, které pak způsobuje optické vady na povrchu odlitků. Vhodnější by bylo nanášení separátoru stříkácí pistolí. Pro účely diplomové práce byla vyrobena pouze jedna silikonová forma.

Doba výroby modelu 3D tiskárnou byla 9 hodin, kde ovšem většinu času zařízení pracuje samostatně bez obsluhy. Výroba silikonové formy pak zabrala 20 hodin.

4.3. Výroba dílů

Největším problémem při výrobě dílů bylo vyvození uzavírací síly formy. První kus byl odlit do formy uzavřené pouze silou od pryžových pásků, což mělo za následek výrazné přetoky do dělicí roviny a rozměrovou nepřesnost odlitku. Další kusy byly odlévány do formy uzavřené mezi ocelové desky, stažené pomocí závitových tyčí a křídlových matic. Nicméně k optimálnímu sevření formy bylo nutné provést několik dalších výrobních smyček.

První 4 vzorky byly vyrobeny s tvrdým komponentem z 3D tiskárny z materiálu VeroWhitePlus RGD835. Nedostatkem tvrdého komponentu byla nižší odolnost teplotě, při které byl elastomer po odlití vytvrzován a křehkost, která způsobovala problémy při dělení vzorků pro zalití do PUR hmoty F23. Z toho důvodu byl od vzorku 5 používán VeroBlackPlus RGD875.

Elastomerní část prvních 3 vzorků tvořil UR3440, který ale po vytvrzení nedosahuje tvrdosti srovnatelné s originálním TPV. Z toho důvodu byl od vzorku 4 používán materiál UR3450. Nicméně UR3440 má proti UR3450 poloviční viskozitu z čehož vyplynulo výrazně problematičtější plnění dutiny formy a horší tvarová přesnost vzorků – viz dále.

Zásadní nevýhodou byla možnost výroby pouze jednoho odlitku denně. Vlastní lití jednoho kusu s následným vytvrzením v laboratorní peci trvalo 5 hodin.

4.4. Vzhled a tvarová přesnost odlitků

První 4 vzorky byly vyrobeny s tvrdým komponentem z materiálu bílé barvy. Díky tomu byly snadno rozpoznatelné přetoky černě obarveného elastomeru do dělicí roviny. Ostatní kusy již měly oba komponenty pouze černé.

Na povrchu tvrdého komponentu je patrná textura způsobená vrstvením materiálu při 3D tisku. Povrch elastomerní části ruší prokreslené tahy štětcem, vzniklé natřením dělicí roviny separátorem. Přetok do dělicí roviny na špičce jazyka lze jen obtížně začistit.

Rozměrovost vzorků z materiálu UR3440 byla z důvodu vyšší tekutosti licí směsi lepší. Tok materiálu neměl takovou tendenci odtlačovat od sebe poloviny silikonové formy, což mělo za následek přesnější odlitky s menšími přetoky do dělicí roviny. Tuto skutečnost zobrazují obrázky 3.31 a 3.32 na straně 50.

Analýza jednoho vzorku (dělení, zalití do PUR hmoty, broušení zalitých vzorků, skenování a porovnání v CAD datech) zabrala zhruba 2 hodiny práce.

4.5. Reakční síla funkčního jazyka na kompresní zatížení

Reakční síla byla nejprve měřena na 5 originálních vzorcích. Výsledky jsou zobrazeny na straně 54. Bylo zřejmé, že má-li odlévaný duplikát být použitelný pro funkční testy, musí se reakce jazyka pohybovat kolem 5N.

První vzorky z UR3440 z důvodu tvrdosti pouze 63ShA dosahovaly pouze polovičních sil než originální těsnění. Grafický záznam měření zobrazuje graf 3.4.

Z toho důvodu byla elastomerní směs nahrazena U3450, která vykazovala nominální tvrdost po vytvrzení 70ShA. Výsledky tlakové tuhosti reprezentují grafy 3.2 a 3.3 na straně

54-55. Nutno podotknout, že z důvodů popisovaných v bodě 4.4 měl těsnící jazyk v kořeni větší tloušťku než originální díl. Každopádně byly opakovaně naměřeny hodnoty odpovídající kusům ze sériového materiálu a produkce.

4.6. Trvalá deformace funkčního jazyka

Opět byly jako referenční nejprve testovány originální díly. Vypočtené hodnoty trvalých deformací 2 dílů vždy pro 2 zkušební řezy jsou na straně 59. Ukázalo se, že výsledky vykazují značný rozptyl, který způsobuje tvarová členitost dílu a rozdílná deformace PP nosiče po délce dílu v průběhu testu. Nicméně ze zkušenosti byl výsledek trvalé deformace TPV jazyka mezi 40 až 50% očekávaný. 86% vzorku 1 a naopak 25% vzorku 2 lze považovat za důsledek deformace PP nosiče, která zapříčinila odchýlení těsnícího jazyka od nominální polohy v průběhu testu.

Deformace tvrdého komponentu rovněž do značné míry ovlivňovala zkoušky vyrobených prototypů. Bylo nutné zkušební přípravek opatřit dodatečnými svorkami, aby bylo vůbec možné test provést. Určitá míra deformace tvrdého komponentu se projevila už v průběhu vytvrzování elastomerní části v peci po odlití.

Výsledky vypočtených hodnot trvalé deformace PUR jazyků jsou na straně 59. Ukázalo se, že z pohledu tohoto parametru je funkční prvek z PUR minimálně srovnatelný s originálním TPV jazykem. Lze očekávat, že se trvalá deformace bude pohybovat kolem 40%. Výsledek necelých 10% u řezu 2 vzorku PUR-6 je jednoznačně způsobený deformací tvrdého komponentu.

5. ZÁVĚR

Tato diplomová práce byla vypracována za účelem ověření procesu výroby prototypu dvoukomponentního těsnění spáry A-sloupku metodou vakuového lití do silikonové formy a následného ověření funkce takto vyrobených vzorků. Vstupem pro získání digitálního 3D modelu byl fyzický díl ze sériové produkce.

V teoretické části jsou zmíněny základní typy dílů, které spadají do oblasti těsnících systémů karoserie osobního vozu a požadavky, které jsou kladeny na jejich funkci a vzhled. Další text pojednává o technologiích, které se při výrobě těsnění používají a jsou zde popsány vybrané typy plastů, které se nejčastěji v souvislosti s těsněním objevují. Poslední kapitola teoretické části se zabývá procesem vývoje těsnění od fáze poptávky až po sériovou výrobu.

Experimentální část detailně rozebírá způsob získání digitálního 3D modelu metodou reverzního inženýrství. V další části je popsán postup výroby silikonové formy a vzorků PUR prototypu. Zbýlé kapitoly se zaměřují na analýzy získaných dílů z pohledu tvarové přesnosti, reakčních sil na kompresní zatížení a trvalé deformace.

Bylo ověřeno, že lze metodami reverzního inženýrství získat rozměrově dostatečně přesná CAD data vhodná jako vstup pro výrobu prototypového nástroje pro výrobu vícekomponentního dílu. Bylo dále ověřeno, že s vybavením laboratoře firmy Henniges lze vyrobit funkční silikonovou formu pro vakuové lití PUR a následně byl odladěn proces výroby prototypových vzorků dílu těsnění spáry A-sloupku.

Získané vzorky byly analyzovány z pohledu rozměrové přesnosti, reakční síly proti kompresnímu zatížení a trvalé deformace těsnícího jazyka. Referenční hodnoty jednotlivých funkčních požadavků byly definovány analýzou dílů ze sériové produkce a sériového materiálu.

Na základě výroby vzorků a zmíněných analýz jsem toho názoru, že ověřovaná technologie výroby není vhodná pro výrobu prototypů určených na zástavbové zkoušky, či ukázkové kusy. Výsledný vzhled dílu může být v lepším případě srovnatelný s dílem z kvalitní 3D tiskárny s mnohonásobně vyššími náklady na výrobu.

Těsnění získaná vakuovým litím PUR do silikonové formy mohou naopak velmi dobře sloužit pro funkční testy, jako jsou zkoušky těsnosti proti vodě, prachu a jiným nečistotám, jízdní zkoušky apod. Naměřené hodnoty byly srovnatelné s originálním dílem, v oblasti trvalé deformace dokonce mírně lepší. Je otázkou, jak by díl obstál v testech, které prověřují chemickou odolnost, rezistenci povětrnostním vlivům apod.

V případě testovaného dílu by bylo každopádně vhodné vyrobit druhý nástroj pro odlévání tvrdého komponentu z materiálu s lepšími mechanickými parametry, než nabízí 3D tisk. Rovněž větší důraz by měl být kladen na aplikaci separátoru při výrobě formy.

Tvorba diplomové práce mi umožnila osvojit si řadu činností, jako je obsluha 3D tiskáren a zařízení pro tahovou zkoušku, příprava vzorků pro 2D skenování, rekonstrukce ploch ze 3D skenu, či vyhodnocování trvalé deformace, které běžně nepatří do mých pracovních povinností.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] HENNIGES AUTOMOTIVE: Firemní materiály
- [2] Web Škoda news [online], [cit. 2018-03-14]
Dostupné na: <http://www.skoda-news.cz>
- [3] AUSPERGER A., Technologie zpracování plastů, TUL, Liberec, 2016
ISBN 978-80-88058-77-9
- [4] BOBEK J., Vstřikovací formy pro zpracování termoplastů, TUL, Liberec, 2016
ISBN 978-80-88058-65-6
- [5] LENFELD P., Technologie vstřikování, TUL, Liberec, 2016
ISBN 978-80-88058-74-8
- [6] Web katedry KVS TUL [online], [cit. 2018-03-22]
Dostupné na: <http://www.kvs.tul.cz/vakuovka>
- [7] KREITH F., THE CRC Handbook of Mechanical Engineering. 2. vyd. CRC Press, 2004
ISBN 978-0-8493-0866-6
- [8] BRADY G., Materials handbook. 14. vyd. McGraw-Hill, 1997
ISBN 0-07-0070849
- [9] BĚHÁLEK L., Polymery, TUL, Liberec, 2016
ISBN 978-80-88058-68-7
- [10] MALÁČ J., Gumárenská technologie – 5. Procesy, [online], [cit. 2018-03-18]
Dostupné na: <http://www.home.karneval.cz/0323339201/text/procesy.pdf>
- [11] ZEMAN L., Vstřikování plastů, BEN – Technická literatura, Praha, 2009
ISBN 978-80-7300-250-3
- [12] KOLOUCH J., Strojírenské výrobky z plastů vyráběné vstřikováním, SNTL, Praha, 1986
- [13] Materiálový list AXSON UR 3440; [online]; [cit. 2018-04-03]
Dostupné na: <https://www.axson.cz/>
- [14] YOUR FLEET; [online]; [cit. 2018-04-01]
Dostupné na: <http://www.yourfleet.co.uk>
- [15] VW norma pro zkoušení reakčních sil na kompresní zatížení PV3364; [online]; [cit. 2018-03-15]
Dostupné na: <https://sso.volkswagen.de/portal01/myvw/kbp>
- [16] Web výrobce 3D tiskáren Stratasys; [online]; [cit. 2018-04-02]
Dostupné na: <http://www.stratasys.com/3d-printers/objet260-connex3>
- [17] Web výrobce mikroskopu Levenhuk; [online]; [cit. 2018-03-26]
Dostupné na:

<https://www.levenhuk.cz/seznam-produktu/mikroskop-levenhuk-dtx-lcd-500/>

[18] VW norma pro zkoušení trvalé deformace PV3363; [online]; [cit. 2018-03-15]

Dostupné na: <https://sso.volkswagen.de/portal01/myvw/kbp>

[19] Web prodejce 3D tiskárny MakerBot; [online]; [cit. 2018-04-05]

Dostupné na:

<http://www.edm3d.cz/index.php/produkty/makerbot/makerbot-replicator-2>

[20] Materiálový list Digital Materials (DMs) Data Sheet; [online]; [cit. 2018-04-05]

Dostupné na:

<http://www.crpm.co.za/wp-content/uploads/2017/07/Objet-Digital-Materials-Data-Sheets.pdf>

[21] Web výrobce vývěv Vakuum-bohemia; [online]; [cit. 2018-04-03]

Dostupné na: <http://www.vakuum-bohemia.cz/PA+0040+A>

[22] Materiálový list AXSON UR 3450; [online]; [cit. 2018-04-03]

Dostupné na: <https://www.axson.cz/>



SEZNAM PŘÍLOH

1. Materiálový list AXSON ESSIL 291_292
2. Materiálový list AXSON F23
3. Materiálový list AXSON UR 3440
4. Materiálový list AXSON UR 3450



ESSIL 291/292

TRANSPARENTNÍ SILIKONOVÁ PRYSKYŘICE
PRO ODLÉVÁNÍ POLYURETANŮ
Tvrdost 38A Shore

POUŽITÍ

Essil 291 je transparentní dvousložková odlévací silikonová pryskyřice pro výrobu elastických samoseparovatelných forem a dílů. Essil 291 je určen především pro výrobu forem pro Rapid Prototyping. Pro pryskyřici Essil 291 jsou dodávány dva typy tužidel - Essil 291 pro "suché" formy (především pro odlévání transparentních dílů - např. PX 5211) a Essil 292 se zvýšenou životností pro standardní odlitky.

VLASTNOSTI

Dlouhá doba zpracovatelnosti (1 hod.) - možnost dále prodloužit přidáním Essil 90 RET (až 4 hod.)

Vytvrzení polyadici

Samoseparovatelná a transparentní

Dva typy katalyzátorů - Essil 291 pro „suché“ formy (např. pro transparentní díly)

- Essil 292 pro „standardní“ formy s dlouhou životností

Velká průtažnost

Velmi malé smrštění po vytvrzení při pokojové teplotě

Výborná odolnost vůči polyuretanovým pryskyřicím

FYZIKÁLNÍ VLASTNOSTI				
	PRYSKYŘICE ESSIL 291	KATALYZ. ESSIL 291	KATALYZ. ESSIL 292	SMĚS
Mísicí poměr (hmotnostní díly)	100	10	10	
Barva	Čirá tekutina	Čirá tekutina	Čirá tekutina	Čirá
Viskozita (Brookfield) při 25°C [mPa.s]	45 000	4 500	4 000	42 000*
Hustota při 25°C [kg/dm ³]	1,08	1,03	0,97	1,08 / 1,07
Doba zpracovatelnosti při 25°C (150g)				60 minut

* mísicí viskozita

PRACOVNÍ POSTUP

Pryskyřici před použitím řádně promíchejte. Smíchejte pečlivě pryskyřici s vybraným katalyzátorem dle předepsaného poměru 100/10. Míchejte cca 2 minuty, pečlivě stírejte stěny nádoby. Před odlitím materiál předvakuujte. Použijte nádobu o objemu 5 x větším než je objem pryskyřice a vakuujte (několikrát až do opadnutí pěny). Odlijte směs do formy a opět odvakuujte. Nechejte směs ztvrdnout při pokojové teplotě nebo po zgelovatění 10h při 40°C. Vyšší teplotu nedoporučujeme používat. Pokud požadujete delší dobu zpracovatelnosti, lze přidat zpomalovač Essil 90 RET. Zpomalovač přidávejte v množství max. 0,2% hmotnosti směsi.

Příklad : pro 10kg pryskyřice Essil 291 přidejte 1kg katalyzátoru (291 nebo 292) a 22g Essilu 90 RET.

UPOZORNĚNÍ

Vytvrzení produktu mohou negativně ovlivnit materiály obsahující aminy, sulfidy nebo nevytvrzené složky jiných materiálů. Nečastější nebezpečí skýtá plastelína či polyesterový tmel či latexové rukavice.

MECHANICKÉ VLASTNOSTI PO VYTVRZENÍ

Konečná tvrdost (ISO 888)	Shore A	38
Prodloužení do přetržení (ISO 37)	%	350
Pevnost v tahu (ISO 37)	MPa	5
Odolnost proti přetržení (ASTMD 624 b)	KN/m	24
Doba pro odformování při 25°C	hodin	12
Doba pro odformování při 40°C	hodin	10
Doba pro odformování při 70°C	hodin	4
Lineární smrštění při vytvrzení @ 23°C	%	< 0,1
Lineární smrštění při vytvrzení @ 70°C	%	< 0,7

Vytvrzovací podmínky vzorku - za standardních podmínek. Hodnoty měřeny po 96 hodinách při pokojové teplotě.

POUŽITÍ ZPOMALOVAČE REAKCE ESSIL 90 RET

Přídavek ESSIL 90 RET (pro hmotnost směsi)	Doba zpracovatelnosti (150g)
0%	60 minut
0,10%	2 hodiny
0,15%	3 hodiny
0,20%	4 hodiny

OPATŘENÍ

Při používání tohoto produktu dodržujte tato opatření :

- ☐ zajistěte dobrou ventilaci
- ☐ používejte ochranné rukavice a brýle
- ☐ další informace vyhledejte v bezpečnostním listě

SKLADOVÁNÍ

Skladovací životnost je 12 měsíců na suchém místě a v originálním neotevřeném balení při pokojové teplotě (15-25°C).

BALENÍ

PRYSKYŘICE 291	KATALYZÁTOR 291	KATALYZÁTOR 292	ESSIL 90 RET
20 kg	2 kg	2 kg	10x 1 kg
200 kg	20 kg	20 kg	20 kg

UPOZORNĚNÍ !

Informace uvedené v těchto technických podkladech vycházejí z výzkumů a testů prováděných v našich laboratořích za přísných podmínek. AXSON ručí za kvalitu svých produktů a za jejich vlastnosti. Firma AXSON neručí za svoje produkty pokud je nepoužijete za stanovených podmínek a pro jiné, než doporučené aplikace. Vlastní použití materiálů probíhá mimo naši kontrolu a jste za ně plně odpovědní. AXSON neručí za žádné škody způsobené používáním produktu! Doporučujeme výrobek nejprve otestovat.



F 23

SNADNO LEŠTITELNÁ
RYCHLETUHNOUCÍ POLYURETANOVÁ PRYSKYŘICE
RYCHLÉ ODFORMOVÁNÍ, VYNIKAJÍCÍ POVRCH

POUŽITÍ

F 23 je nízkoviskozní plněná dvousložková pryskyřice pro výrobu předlohových modelů, rozmnožovacích forem, reprodukčních modelů a všech dílů a forem, kde je požadována vysoká přesnost a snadná leštitelnost.

VLASTNOSTI

Vynikající leštitelnost - sklovitý povrch
Malé smrštění
Nízká viskozita
Krátký čas vytvrzení
Snadný mísicí poměr 100:20
Výborná přilnavost mezi jednotlivými odlévanými vrstvami
Malá náchylnost na vlhko

FYZIKÁLNÍ VLASTNOSTI			
	F 23 POLYOL	F 23 ISO	SMĚS
Mísicí poměr váhový	100	20	
Mísicí poměr objemový @ 25°C	100	27	
Skupenství	Kapalina	Kapalina	Kapalina
Barva	Bílá	Jantarová	Bílá
Viskozita (Brookfield) @ 25°C [mPa.s]	5000	40	1750
Hustota @ 25°C [kg/litr]	1,65	1,22	1,58
Doba zpracovatelnosti (240g) @ 25°C			5 minut

PRACOVNÍ POSTUP

Složka F23 POLYOL musí být před použitím řádně promíchána! Smíchejte obě složky v předepsaném poměru 100/20 a řádně promíchejte. Odlévejte volným litím nebo pod vakuem. Pokud nejsou formy silikonové (ESSIL), pak povrch forem nezapomeňte ošetřit vhodným separátorem (AXSON 841 nebo 851). V případě, že odlitek je silnější než 50mm, doporučujeme odlévat několik vrstev. Další vrstvu dolévejte do 20 minut pro zajištění dobré přilnavosti.

Před použitím produktu se vždy ujistěte, že veškeré předměty, které se dostanou do kontaktu s produktem (mísídky, nádoby, formy, pigmenty atd...) jsou dokonale suché!

MECHANICKÉ VLASTNOSTI @ 23°C PO VYTVRZENÍ			
Konečná tvrdost @ 23°C	ISO 868-85	Shore D15	82
Ohybový modul pružnosti	ISO 178	MPa	5000
Pevnost v tlaku	ISO 604	MPa	50
Pevnost v tahu	ISO 527	MPa	24
Pevnost v ohybu	ISO 179/1	MPa	25

TEPELNÉ A SPECIFICKÉ VLASTNOSTI			
Teplota zesklivatění	T.M.A. - METTLER	°C	55
Teplotní odolnost	temperace 3h @ 80°C	°C	90
Lineární smrštění	(síla odlitku 50mm)	mm/m	2,9
Vytvrzení k odformování	(síla odlitku 50mm)	minut	30
Maximální doporučená síla odlitku		mm	50

Výše uvedené hodnoty byly naměřeny na standardním vzorku vytvrzeném 7 dní při 23°C.

OPATŘENÍ

Při používání tohoto produktu dodržujte tato opatření :

- ☐ zajistěte dobrou ventilaci
- ☐ používejte ochranné rukavice a brýle
- ☐ další informace vyhledejte v bezpečnostním listě

SKLADOVÁNÍ

Skladovací životnost je 6 měsíců na suchém, tmavém místě a v originálním neotevřeném balení při teplotě 15-25°C.

BALENÍ

F 23 ISO
 6x 0,2 kg

F 23 POLYOL
 6x 1kg

UPOZORNĚNÍ!

Informace uvedené v těchto technických podkladech vycházejí z výzkumů a testů prováděných v našich laboratořích za přísných podmínek. AXSON ručí za kvalitu svých produktů a za jejich vlastnosti. Firma AXSON neručí za svoje produkty pokud je nepoužijete za stanovených podmínek a pro jiné, než doporučené aplikace. Vlastní použití materiálů probíhá mimo naši kontrolu a jste za ně plně odpovědní. AXSON neručí za žádné škody způsobené používáním produktu! Doporučujeme výrobek nejdříve otestovat.

ACR CZECH s.r.o.
 Žatecká 1899/25, 434 30 MOST
 telefon/fax: 476 704 212, e-mail: info@axson.cz

www.axson.cz



UR 3440

ELASTICKÝ ODLÉVACÍ POLYURETAN

tvrdost 63A Shore

POUŽITÍ

UR 3440 je odlévací dvousložková pryskyřice pro výrobu elastických forem a dílů s tvrdostí 63A Shore. Používá se pro výrobu těsnění, pískovacích masek, forem pro beton a sádku, prototypových dílů a podobně.

VLASTNOSTI

Nízká viskozita
Dobrá odolnost proti stárnutí
Dobrá otěruvzdornost
Malá náchylnost na vlhko
Dobrá rozměrová stabilita

FYZIKÁLNÍ VLASTNOSTI			
	SLOŽKA A	SLOŽKA B	SMĚS
Složení	ISOKYANÁT	POLYOL	
Mísicí poměr - hmotnostní díly	100	50	
Mísicí poměr - objemové díly	100	56	
Skupenství	kapalina	kapalina	kapalina
Barva	čirá	jantarová	světle jantarová
Viskozita (Brookfield) @ 25°C [mPa.s]	4000	175	1500
Hustota @ 25°C [kg/litr]	1,04	0,93	1,02
Doba zpracovatelnosti (150g) @ 25°C			17 minut

PRACOVNÍ POSTUP

Promíchejte důkladně obě složky při teplotě vyšší než 18°C. Poté obě složky smíchejte podle předepsaného poměru a promíchejte. Pro lepší odvědušnění může být produkt vakuován.

Pro dosažení nižší viskozity (lepší tekutosti) můžete předehřát složku A (ISO), ale doba zpracovatelnosti se zkrátí. Pokud odléváte materiál do jiných než silikonových forem (např. hliníkových), doporučujeme použít separátor Axson 870 (sprej) nebo Axson 851.

Před odlitím se ujistěte, že forma není vlhká nebo neobsahuje kapky vody po čištění. Dobarvujte pigmenty AXSON CP a vždy přidávejte pigment do POLYOLU (složka B).

MECHANICKÉ VLASTNOSTI @ 23°C PO VYTVRZENÍ			
Konečná tvrdost @ 23°C	ISO 868-85	Shore A1/ A15	63 / 61
Odolnost proti přetržení	ISO 34	kN/m	24
Pevnost v tahu	ISO 527-84	MPa	3
Otěruvzdornost (TABER)	ISO 5470	mg/100U	16
BASHORE odrazivost	ASTM 2632	%	44
Prodloužení do přetržení	ISO 527	%	1000

TEPELNÉ A SPECIFICKÉ VLASTNOSTI

Teplotní oblast použitelnosti	-	°C	-40 / +80
Teplota zesklotnění	T.M.A. - METTLER	°C	-80
Koeficient teplotní roztažnosti	oblast [0,+40]°C	10 ⁻⁶ K ⁻¹	260
Lineární smrštění	vzorek 250x50x3mm	mm/m	0,5
Maximální doporučená síla odlitku		mm	80-100
Doba vytvrzení k odformování @ 23°C		hodin	24
Doba vytvrzení k odformování @ 70°C		hodin	2
Kompletní vytvrzení @ 23°C		hodin	144
Kompletní vytvrzení @ 70°C		hodin	4

Výše uvedené hodnoty byly naměřeny na standardním vzorku vytvrzeném 16hod @ 70°C.

OPATŘENÍ

Při používání tohoto produktu dodržujte tato opatření :

- ☐ zajistěte dobrou ventilaci
- ☐ používejte ochranné rukavice a brýle
- ☐ další informace vyhledejte v bezpečnostním listě

SKLADOVÁNÍ

Skladovací životnost je 12 měsíců na suchém místě a v originálním neotevřeném balení při teplotě 20-25°C. Pokud je dlouhodobě skladován ISO při teplotě pod 15°C, může dojít ke krystalizaci. Pro odstranění krystalizace umístěte do pece na 4-6 hodin při 50°C.

POZOR! Nadměrné zahřívání (více jak 60°C a/nebo déle jak 12 hodin) může vést k degradaci produktu!

BALENÍ

Složka A (ISO)
1kg , 20kg

Složka B (POLYOL)
0,5kg, 10kg

UPOZORNĚNÍ

Informace uvedené v těchto technických podkladech vycházejí z výzkumů a testů prováděných v našich laboratořích za přísných podmínek. AXSON ručí za kvalitu svých produktů a za jejich vlastnosti. Firma AXSON neručí za svoje produkty pokud je nepoužijete za stanovených podmínek a pro jiné, než doporučené aplikace. Vlastní použití materiálů probíhá mimo naši kontrolu a jste za ně plně odpovědní. AXSON neručí za žádné škody způsobené používáním produktů! Doporučujeme výrobek nejprve otestovat.



UR 3450

ELASTICKÁ POLYURETANOVÁ PRYSKYŘICE PRO
FORMY NA BETON A JINÉ ELASTICKÉ DÍLY
vysoká otěruvzdornost, chemická odolnost

POUŽITÍ

UR 3450 je dvousložková pryskyřice s vynikající otěruvzdorností pro výrobu forem pro odlévání betonu, umělého kamene nebo sádky. Dále pak pro výrobu elastických dílů a prototypů, lisovacích nástrojů, antivibračních bloků apod.

VLASTNOSTI

Vynikající otěruvzdornost
Dlouhá doba zpracovatelnosti - rychlé odformování
Vynikající mechanické vlastnosti
Malá náchylnost na vlhko
Vynikající chemická odolnost

FYZIKÁLNÍ VLASTNOSTI			
	SLOŽKA A	SLOŽKA B	SMĚS
Složení	UR 3450 ISO	UR 3450 POLYOL	
Mísicí poměr - hmotnostní díly	100	35	
Mísicí poměr - objemové díly	100	36	
Skupenství	Kapalina	Kapalina	
Barva	Bezbarvá	Černá	Černá
Viskozita (Brookfield) @ 25°C [mPa.s]	19.000	150	3.000
Hustota @ 25°C [kg/litr]	1,08±0,02	1,03±0,02	1,08±0,02
Doba zpracovatelnosti (100g) @ 25°C			20 minut

PRACOVNÍ POSTUP

Obě složky musí být před použitím řádně promíchány. Pečlivě smíchejte dle předepsaného míšicího poměru a odlévejte volným litím nebo pod vakuem do suchých forem (pevných či silikonových) při teplotě vyšší jak 18°C. Povrch pevných forem nezapomeňte ošetřit vhodným separátorem (Axson 851 nebo Aerosol 870).

Pro zlepšení zatékavosti lze materiál předehřát až na 50°C. Nezapomeňte však, že se zkrátí doba zpracovatelnosti a zvýší smršťení. Rovněž formy mohou být temperovány.

Pro urychlení odformování je možno odlitek temperovat při 80°C.

MECHANICKÉ VLASTNOSTI @ 23°C PO VYTVRZENÍ			
Konečná tvrdost @ 23°C	ISO 868-85	A Shore	79
Otěruvzdornost	TABER	mg/100U	41
Prodloužení do přetržení	ISO 37-77	%	620
Odolnost proti přetržení	ISO 34-94	kN/m	87
Pevnost v tahu	ISO 527-84	MPa	12

TEPELNÉ A SPECIFICKÉ VLASTNOSTI			
Teplota zesklotnění	T.M.A. - METTLER	°C	-60
Teplotní oblast použitelnosti		°C	-40 / +80
Lineární smrštění	vzorek 250x50x3mm	mm / m	3,6
Maximální doporučená síla odlitku		mm	80
Doba vytvrzení k odformování @ 23°C		hodin	24
Doba vytvrzení k odformování @ 80°C *		hodin	2
Kompletní vytvrzení systému @ 23°C		hodin	96
Kompletní vytvrzení systému @ 80°C *		hodin	4

Výše uvedené hodnoty byly naměřeny na standardním vzorku vytvrzeném 16 hodin při 70°C.

OPATŘENÍ

Při používání tohoto produktu dodržujte tato opatření :

- ☐ zajistěte dobrou ventilaci
- ☐ používejte ochranné rukavice a brýle
- ☐ další informace vyhledejte v bezpečnostním listě

SKLADOVÁNÍ

Skladovací životnost je 6 měsíců na suchém místě a v originálním neotevřeném balení při teplotě 15-25°C. Isokyanát (složka A) může při teplotě pod 18°C krystalizovat - zahřívejte na 4-6 hodin při teplotě 50°C a řádně míchejte, až tento jev vymizí. Příliš dlouhé (více jak 12 hodin) nebo příliš vysoké (více jak 60°C) zahřívání vede k degradaci produktu!

BALENÍ

Složka A (UR 3450 ISO)
1kg
20 kg

Složka B (UR 3450 POLYOL)
0,35 kg
7 kg

UPOZORNĚNÍ

Informace uvedené v těchto technických podkladech vycházejí z výzkumů a testů prováděných v našich laboratořích za příznivých podmínek. AXSON ručí za kvalitu svých produktů a za jejich vlastnosti. Firma AXSON neručí za svoje produkty pokud je nepoužijete za stanovených podmínek a pro jiné, než doporučené aplikace. Vlastní použití materiálů probíhá mimo naši kontrolu a jste za ně plně odpovědní. AXSON neručí za žádné škody způsobené používáním produktu! Doporučujeme výrobek nejprve otestovat.